



**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**ANALISIS *SIDEFORCE* KAPAL KATAMARAN JENIS *FLAT*  
*SIDE INSIDE* DAN SIMETRIS TERHADAP PERFORMA  
*MANEUVERING* KAPAL DENGAN METODE CFD**

**Aryo Tri Septya Nugraha**  
**NRP 04111440000010**

**Dosen Pembimbing**  
**Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2018**



---

**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**ANALISIS *SIDEFORCE* KAPAL KATAMARAN JENIS *FLAT*  
*SIDE INSIDE* DAN SIMETRIS TERHADAP PERFORMA  
*MANEUVERING* KAPAL DENGAN METODE CFD**

**Aryo Tri Septya Nugraha**  
**NRP 04111440000010**

**Dosen Pembimbing**  
**Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2018**



---

**FINAL PROJECT - MN 141581**

***SIDEFORCE ANALYSIS ON CATAMARAN SHIP WITH  
FLAT SIDE INSIDE AND SYMETRIC TOWARDS SHIP'S  
MANEUVERING PERFORMANCE USING CFD METHOD***

**Aryo Tri Septya Nugraha**

**NRP 04111440000010**

**Dosen Pembimbing**

**Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING**

**FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY**

**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**

**SURABAYA**

**2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

# **ANALISIS *SIDEFORCE* KAPAL KATAMARAN JENIS *FLAT* *SIDE INSIDE* DAN SIMETRIS TERHADAP PERFORMA *MANEUVERING* KAPAL DENGAN METODE CFD**

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ARYO TRI SEPTYA NUGRAHA**  
NRP 04111440000010

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19670406 199203 1 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan ITS



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 18 JULI 2018



## LEMBAR REVISI

# **ANALISIS *SIDEFORCE* KAPAL KATAMARAN JENIS *FLAT* *SIDE INSIDE* DAN SIMETRIS TERHADAP PERFORMA *MANEUVERING* KAPAL DENGAN METODE CFD**

### **TUGAS AKHIR**

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 4 Juli 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

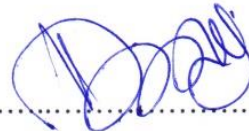
Oleh:

**ARYO TRI SEPTYA NUGRAHA**

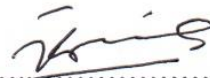
NRP 04111440000010

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

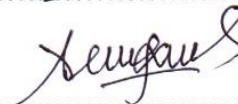
1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



2. Dr. Ir. I Ketut Suastika



3. Teguh Putranto, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.



SURABAYA, 18 JULI 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua saya, Bapak Sanusi dan Ibu Wahyu Listianingati serta keluarga saya dirumah, terima kasih atas semua doa, dukungan dan usahanya.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “ANALISIS *SIDEFORCE* KAPAL KATAMARAN JENIS *FLAT SIDE INSIDE* DAN SIMETRIS TERHADAP PERFORMA *MANEUVERING* KAPAL DENGAN METODE CFD”.

Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih pada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Ayahanda Sanusi (Alm) dan Ibunda Wahyu Listianingati serta Mas Arsa Listya Dana dan Adik Aulia Hanifatul Hijriyati yang selalu berdoa dengan tiada henti-hentinya, memberikan kasih sayang, serta nasihat-nasihat yang selalu menjadi panutan dan selalu memberikan dukungan utama kepada penulis.
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D selaku kepala Departemen Teknik Perkapalan yang sudah banyak membantu penulis sebagai mahasiswa dalam belajar.
3. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah mengarahkan dan membimbing, penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
4. Dedi Budi Purwanto S.T., M.T. selaku dosen wali penulis yang sudah membimbing dan banyak membantu penulis dalam menyelesaikan perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan.
5. Semua Bapak dan Ibu Dosen beserta staf dan karyawan di Departemen Teknik Perkapalan, FTK-ITS yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis.
8. Teman-teman P54 DEADRISE, yang sudah menemani, membantu, dan menjadi teman terbaik selama penulis berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan, FTK-ITS.
9. Rika Rukmanasari orang yang selalu memberi dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir.
10. Dan kepada semua orang yang berperan aktif dalam kehidupan penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sebuah kesempurnaan. Untuk itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. untuk kesempurnaan pada riset yang akan datang. Akhir kata, penulis mohon maaf apabila terselip penulisan kata yang salah dan kurang berkenan di hati para pembaca. Terima kasih

Surabaya, 18 Juli 2018

Aryo Tri Septya Nugraha

# **ANALISIS *SIDEFORCE* KAPAL KATAMARAN JENIS *FLAT SIDE INSIDE* DAN SIMETRIS TERHADAP PERFORMA *MANEUVERING* KAPAL DENGAN METODE CFD**

Nama Mahasiswa : Aryo Tri Septya Nugraha  
NRP : 04111440000010  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D

## **ABSTRAK**

Kapal katamaran sebagai alternatif baru dalam memberikan solusi yang efisien dalam banyak bidang dengan berbagai kelebihan dalam aspek hidrodinamika kapal secara teknis. Variasi konfigurasi lambung katamaran asimetris *flat side inside* dan lambung kapal katamaran simetris memberikan dampak yang berbeda dengan adanya pengaruh *sideforce* yang ada pada kapal katamaran. *Sideforce* yang mengenai setiap *demihull* dapat bersifat menghambat, mengingat adanya *induced drag* dari kedua *demihull* yang bersifat menghambat laju kapal. Kapal katamaran yang memiliki pengaruh dari perbandingan jarak melintang kapal dengan panjang kapal ( $S/L$ ) sehingga dilakukan penelitian untuk  $S/L = 0.2$ ,  $S/L = 0.3$  dan  $S/L = 0.4$ . Selain hubungan pengaruh *sideforce* dengan variasi jenis lambung kapal. *Sideforce* juga mampu memberikan pengaruh dalam *maneuvering* kapal. Dalam proses *maneuvering*, kapal mengalami kondisi dimana kapal berbelok sehingga penelitian disimulasikan dalam variasi sudut kemiringan, yaitu sudut kemiringan  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$  terhadap sumbu Z. Dalam simulasi yang dilakukan dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) diperoleh nilai *sideforce* yang selanjutnya diubah menjadi nilai *sideforce coefficient* ( $C_{SF}$ ). Selain diperoleh nilai dari *sideforce coefficient* ( $C_{SF}$ ) juga diperoleh nilai  $C_T$ . Dimana nilai  $C_{SF}$  diperoleh berdasarkan besarnya nilai *force* pada sumbu y, atau sumbu yang sejajar dengan arah melintang kapal. Sedangkan nilai  $C_T$  diperoleh berdasarkan nilai besarnya *force* berdasarkan sumbu x, atau sumbu yang sejajar dengan arah memanjang kapal. Perbedaan konfigurasi lambung pada kapal katamaran dapat menyebabkan nilai *sideforce* dan nilai  $C_{SF}$  yang berbeda. Kapal katamaran asimetris *flat side inside* memiliki nilai *sideforce* yang lebih besar dibandingkan dengan kapal katamaran simetris. Pada kapal katamaran simetris dan asimetris *flat side inside* pada sudut kemiringan  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$  nilai  $C_{SF}$  lebih kecil daripada nilai  $C_T$ . Pada sudut kemiringan  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$   $C_{SF}$  memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $C_T$ .

Kata Kunci: Katamaran, *Sideforce*, *Sideforce Coefficient* ( $C_{SF}$ ), *Maneuvering*, CFD



# ***SIDEFORCE ANALYSIS ON CATAMARAN SHIP WITH FLAT SIDE INSIDE AND SYMETRIC TOWARDS SHIP'S MANEUVERING PERFORMANCE USING CFD METHOD***

Author : Aryo Tri Septya Nugraha  
Student Number : 04111440000010  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D

## **ABSTRACT**

Camataran ship as a new alternative in providing an efficient solution in many fields with various advantages in the aspect of the ship hydrodynamic. The variations in the configuration of *flat side inside*- asymmetrical and the symmetrical catamaran hull have a different impacts from the catamaran ship. The *sideforce* generated by each demihull act in opposition whereas the induce drag of both demihull act to resist the forward motion of the ship ffects of the *sideforce* on the catamaran ship. The catamaran ship has an effect from the ratio of the transverse distance with the length of the vessel ( $S/L$ ) so that the research is conducted for  $S/L = 0.2$ ,  $S/L = 0.3$  and  $S/L = 0.4$ . Aside from the relation of the influence of *sideforce* with variations of ship hull type. *Sideforce* is also capable of giving the influence in ship *maneuvering*. In the process of *maneuvering*, the ship experiences a condition in which the ship turns so that the research is simulated in variations of the inclination angle,  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$  to the Z axis. In the simulation conducted with Computational Fluid Dynamics (CFD) method, the *sideforce* value is obtained and then converted to the value of *sideforce* ciefficient ( $C_{SF}$ ). In addition to the value obtained from *sideforce* coefficient ( $C_{SF}$ ) also obtained the value of  $C_T$ . Where the value of  $C_{SF}$  is obtained based on the magnitude of the force value on the y axis, or the axis parallel to the transverse direction of the ship. While the  $C_T$  value is obtained based on the value of the force based on the x axis, or the axis is parallel to the direction of the ship lengthening. Differences in hull configuration on catamarans have *sideforce* and different  $C_{SF}$  values. Flat side-inside-Asymmetrical catamaran has a larger *sideforce* value compared to a symmetrical catamaran ship. On a symmetrical and *flat side inside* asymmetric catamaran at a inclination angle of  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ , the  $C_{SF}$  value is smaller than the  $C_T$  value. At an angle of ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$   $C_{SF}$  has a value greater than the value of  $C_T$ .

Keywords: Catamaran, *Sideforce*, *Sideforce* Coefficient ( $C_{SF}$ ), *Maneuvering*, CFD

# DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR SIMBOL .....	xiv
Bab I PENDAHULUAN .....	1
I.1.    Latar Belakang Masalah.....	1
I.2.    Perumusan Masalah.....	2
I.3.    Tujuan.....	2
I.4.    Batasan Masalah.....	2
I.5.    Manfaat.....	3
I.6.    Hipotesis.....	3
Bab II STUDI LITERATUR .....	5
II.1.    Dasar Teori.....	5
II.2.    Tinjauan Pustaka .....	6
II.2.1.    Kapal Katamaran .....	6
II.2.2. <i>Sideforce</i> .....	9
II.2.3.    Computational Fluid Dynamic (CFD) .....	10
II.2.4. <i>Maneuvering</i> .....	13
Bab III METODOLOGI .....	19
III.1.    Metode.....	19
III.1.1.    Studi Literatur .....	19
III.1.2.    Pengumpulan Data .....	19
III.1.3.    Pemodelan, Simulasi CFD .....	19
III.1.4.    Validasi .....	20
III.1.5.    Analisa Data dan Penyelesaian .....	21
III.2.    Bahan dan Peralatan .....	21

III.3.	Proses Pengerjaan.....	21
III.4.	Bagan Alir .....	22
Bab IV	PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI CFD .....	23
IV.1.	Pembuatan Model Uji Numerik .....	23
IV.1.1.	Lambung katamaran Simetris .....	24
IV.1.2.	Lambung katamaran Asimetris <i>Flat side inside</i> .....	26
IV.1.3.	Proses Meshing .....	28
IV.2.	Simulasi CFD .....	31
IV.2.1.	Tahap CFX-Pre Processor .....	31
IV.2.2.	Tahap Solver .....	34
IV.2.3.	Tahap Post-Processor .....	35
IV.3.	Validasi <i>Grid Independence</i> .....	35
Bab V	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	39
V.1.	Pendahuluan .....	39
V.2.	Simulasi <i>Free Surface</i> .....	40
V.2.1.	Kapal Katamaran Simetris .....	40
V.2.2.	Kapal Katamaran Asimetris ( <i>Flat side inside</i> ).....	46
V.2.3.	Perbandingan simulasi <i>free surface</i> katamaran asimetris <i>flat side inside</i> dan katamaran simetris .....	49
V.3.	Hubungan <i>Sideforce</i> dan <i>Maneuvering</i> .....	54
Bab VI	KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
VI.1.	Kesimpulan.....	57
VI.2.	Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Katamaran asimetris Tipe C (Niekerk, 2002) .....	7
Gambar II. 2 Katamaran asimetris Tipe D (Niekerk, 2002) .....	8
Gambar II. 3 Katamaran asimetris Tipe E (Niekerk, 2002) .....	8
Gambar II. 4 Katamaran asimetris Tipe H (Niekerk, 2002) .....	9
Gambar II. 5 <i>Inherent dynamic stability</i> .....	13
Gambar II. 6 <i>Course-keeping ability</i> .....	14
Gambar II. 7 <i>Turning ability</i> (Bertram, 2002) .....	14
Gambar II. 8 <i>Coordinate system maneuvering motion</i> (Fuwa & Tatsuo 1973) .....	15
Gambar IV. 1 Konfigurasi Dasar Lambung Katamaran .....	23
Gambar IV. 2 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Simetris $S/L=0.4$ yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf .....	25
Gambar IV. 3 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Simetris $S/L=0.2$ yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf .....	25
Gambar IV. 4 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Simetris $S/L=0.3$ yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf .....	25
Gambar IV. 5 Data Hidrostatik kapal katamaran Simetris $S/L=0.2$ , $S/L=0.3$ dan $S/L = 0.4$ berdasarkan <i>Maxsurf Modeller Advanced</i> .....	26
Gambar IV. 6 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Asimetris <i>Flat side inside</i> $S/L=0.2$ yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf .....	26
Gambar IV. 7 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Asimetris <i>Flat side inside</i> $S/L=0.4$ yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf .....	27
Gambar IV. 8 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Asimetris <i>Flat side inside</i> $S/L=0.3$ yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf .....	27
Gambar IV. 9 Data Hidrostatik kapal katamaran Asimetris $S/L=0.2$ , $S/L= 0.3$ dan $S/L=0.4$ berdasarkan <i>Maxsurf Modeller Advanced</i> .....	28
Gambar IV. 10 Import model kapal katamaran Simetris dari maxsurf ke ICEM .....	29
Gambar IV. 11 Import model kapal katamaran Asimetris <i>flat side inside</i> dari maxsurf ke ICEM .....	29

Gambar IV. 12 Pengaturan <i>meshing</i> untuk kapal katamaran Simetris .....	30
Gambar IV. 13 Pengaturan <i>meshing</i> untuk kapal katamaran Asimetris <i>flat side inside</i> .....	30
Gambar IV. 14 Dinding uji dan Fluida pada simulasi <i>Free Surface</i> .....	30
Gambar IV. 15 Hasil <i>meshing</i> pada simulasi <i>Free Surface</i> .....	31
Gambar IV. 16 Sudut Kemiringan Kapal Pada Simulasi CFD .....	34
Gambar IV. 17 Proses Running Pada simulasi <i>Free Surface</i> .....	34
Gambar IV. 18 Grid Independence Katamaran Asimetris <i>Flat side inside</i> pada simulasi <i>Free Surface</i> .....	36
Gambar IV. 19 <i>Grid Independence</i> Katamaran Simetris pada simulasi <i>Free Surface</i> .....	36
Gambar IV. 20 Spesifikasi komputer dalam Proses <i>Running</i> CFD .....	37
Gambar V. 1 Bagan Hasil Simulasi Model .....	39
Gambar V. 2 Perbandingan nilai CSF dan CT S/L= 0.2 kapal katamaran simetris .....	42
Gambar V. 3 Perbandingan nilai CSF dan CT S/L= 0.4 kapal katamaran simetris .....	42
Gambar V. 4 Perbandingan nilai CSF dan CT S/L= 0.3 kapal katamaran simetris .....	43
Gambar V. 5 Gambar pola gelombang tampak atas pada salah satu model pada setiap variasi sudut kemiringan .....	45
Gambar V. 6 Perbandingan nilai CSF dan CT S/L= 0.2 kapal katamaran Asimetris <i>Flat side inside</i> .....	47
Gambar V. 7 Perbandingan nilai CSF dan CT S/L= 0.3 kapal katamaran Asimetris <i>Flat side inside</i> .....	48
Gambar V. 8 Perbandingan nilai CSF dan CT S/L= 0.4 kapal katamaran Asimetris <i>Flat side inside</i> .....	48
Gambar V. 9 Perbandingan CSF kapal katamaran simetris .....	49
Gambar V. 10 Perbandingan CSF kapal katamaran asimetris <i>flat side inside</i> .....	50
Gambar V. 11 Perbandingan CSF S/L = 0.2 katamaran simetris dan asimetris <i>flat side inside</i> .....	51
Gambar V. 12 Perbandingan CSF S/L = 0.3 katamaran simetris dan asimetris <i>flat side inside</i> .....	51
Gambar V. 13 Perbandingan CSF S/L = 0.4 katamaran simetris dan asimetris <i>flat side inside</i> .....	52
Gambar V. 14 Vektor <i>force</i> yang terjadi pada kapal katamaran .....	53
Gambar V. 15 Gambar <i>pressure</i> yang terjadi pada kapal tampak samping pada model .....	54

## DAFTAR TABEL

Tabel IV. 1 Tabel Rasio Dimensi .....	23
Tabel IV. 2 Data Kapal Katamaran Asimetris <i>Flat Side Inside</i> .....	24
Tabel IV. 3 Data Kapal Katamaran Simetris .....	24
Tabel IV. 4 Pendefinisian <i>CEL (CFX Expression Language)</i> .....	31
Tabel IV. 5 Grid Independency Asimetris flat side inside Free Surface .....	35
Tabel IV. 6 <i>Grid Independence</i> Simetris <i>Free surface</i> .....	36
Tabel V. 1 Nilai CSF pada simulasi <i>free surface</i> kapal katamaran simetris .....	40
Tabel V. 2 Nilai CT pada simulasi <i>free surface</i> pada kapal katamaran simetris .....	41
Tabel V. 3 Nilai CSF pada simulasi <i>free surface</i> kapal katamaran asimetris <i>flat side inside</i> ..	46
Tabel V. 4 Nilai CT pada simulasi <i>free surface</i> pada kapal katamaran asimetris <i>flat side inside</i> .....	47



## DAFTAR SIMBOL

$m$	: massa kapal
$I$	: Momen inersia memperhatikan sumbu vertikal di pusat gravitasi kapal
$X, Y$	: Gaya-gaya hidrodinamika secara memanjang dan melintang yang bekerja pada kapal
$N$	: momen hidrodinamika yang bekerja pada pusat gravitasi kapal
$r$	: kecepatan angular dari belokan, yang memiliki hubungan, $r = \dot{\Psi}$
$M$	: kekuatan atau saat karena gerak kapal
$P$	: kekuatan atau saat karena tindakan baling-baling
$R$	: kekuatan atau momment karena tindakan kemudi
$\alpha_R$	: sudut yang terjadi di aliran fluida yang bekerja di sekitar kemudi yang dibuat oleh kemudi mengarahkan sudut dan resultan aliran baling-baling slip stream dan kapal mengubah gerak.
$f_R$	: koefisien kinerja dari bagian kemudi sebagai sebuah sayap.
$A_R$	: luasan kemudi
$U_R$	: kecepatan aliran di sekitar kemudi
<i>Sideforce</i>	: nilai <i>sideforce</i>
$\mu$	: massa jenis air laut $1025 \text{ kg/m}^3$
$WSA$	: luas permukaan basah pada kapal ( <i>wetted surface area</i> )
$U$	: <i>velocity</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Penggunaan kapal katamaran sebagai alternatif baru dalam memberikan solusi yang efisien dalam banyak bidang dengan berbagai kelebihan yang dapat di berikan. Tidak hanya kelebihan dalam hal kenyamanan penumpang namun juga kelebihan dalam aspek hidrodinamika kapal secara teknis. Kapal katamaran *flat side inside* adalah salah satu konfigurasi lambung kapal katamaran dimana pada bagian *bridge* atau *tunnel* kapal memiliki bentuk datar. Dengan mengguakan prinsip kapal *monohull* yang dijadikan katamaran konfigurasi lambung ini memberi keuntungan dengan adanya permukaan area geladak yang lebih luas dibandingkan denga kapal *monohull* serta memiliki tingkat stabilitas yang lebih tinggi. Selain kapal katamaran *flat side inside* adapula katamaran *symmetris*, dimana lambung kapal berbentuk simetris, sehingga dapat memberikan dampak yang signifikan pula untuk performa kapal (Insel & Molland, 1990).

Gelombang memberikan efek yang signifikan pada kapal yang sedang bergerak. Dengan adanya gelombang maka secara langsung mempengaruhi *maneuvering* kapal, dimana dalam pergerakan *maneuvering* kapal maka kapal akan mengalami variasi sudut belokan yang dapat mengubah arah gerak kapal. Sehingga ketika kapal berada pada sudut belok tertentu akan terjadi fenomena-fenomena gaya atau (*force*) yang terjadi pada kapal. Secara umum lambung kapal yang berada pada bagian haluan kapal yang menerima pengaruh gelombang yang menyebabkan kapal mengalami gerakan. Dari pengaruh gelombang tersebut maka akan memberikan dampak yang signifikan pada *performance* kapal.

Perkembangan teknologi dalam bidang perkapalan dapat mendukung proses analisa memanfaatkan perkembangan teknologi adalah perhitungan numerik dengan menggunakan apa yang disebut *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang memanfaatkan perkembangan teknologi berkecepatan tinggi. Teknik CFD memungkinkan penyelidikan sebuah model dengan ketelitian yang sangat tinggi tetapi

dengan konsekuensi memerlukan kapasitas memori komputer yang tinggi pula (Versteeg dan Malalasekera, 2007).

Dengan efisiensi konfigurasi lambung katamaran *flat side inside* dan lambung kapal katamaran simetris, maka perlu dianalisa mengenai hubungan pengaruh *sideforce* dengan variasi konfigurasi lambung kapal. Pengaruh *sideforce* akan memberikan perbedaan yang berbeda pada jarak radius *maneuvering* kapal yang memiliki konfigurasi lambung yang berbeda. Aliran fluida yang dibedakan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen menjadi dasar utama *maneuvering* kapal serta *performance* kapal.

## **I.2. Perumusan Masalah**

1. Bagaimana perbandingan nilai *sideforce* pada kapal katamaran dengan perbandingan perbedaan konfigurasi lambung?
2. Bagaimana pengaruh *sideforce* terhadap manuver kapal katamaran asimetris *flat side inside* dan katamaran simetris?

## **I.3. Tujuan**

1. Mengetahui perbandingan nilai *sideforce* pada kapal katamaran perbandingan perbedaan konfigurasi lambung.
2. Mengetahui pengaruh *sideforce* terhadap manuver kapal katamaran asimetris *flat side inside* dan katamaran simetris.

## **I.4. Batasan Masalah**

1. Konfigurasi lambung kapal katamaran adalah *flat side inside* dan simetris.
2. Tipe lambung kapal yang digunakan dalam penelitian adalah kapal katamaran.
3. Analisa meliputi nilai *sideforce* pada kapal katamaran simetris dan asimetris *flat side inside*
4. Penelitian hanya sebatas teoritis, yaitu perhitungan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software CFD-Ansys*.
5. Perhitungan kekuatan memanjang kapal diabaikan.
6. Penelitian tidak melakukan perhitungan *turning radius*.
7. Analisa pada kondisi *calm water* dengan *sea state* = 0.
8. Sudut kemiringan  $2^{\circ}$ ,  $4^{\circ}$ ,  $6^{\circ}$ ,  $8^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $12^{\circ}$ ,  $14^{\circ}$  terhadap sumbu Z.

### **I.5. Manfaat**

1. Secara praktis, mendapatkan data efisiensi konfigurasi lambung yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pembangunan kapal katamaran.
2. Secara akademis, memberikan informasi tentang pengaruh variasi konfigurasi lambung katamaran terhadap *manuevering* kapal karena adanya nilai *sideforce*. Selain itu akan menambah *database* tentang kajian kapal katamaran.

### **I.6. Hipotesis**

Perbedaan konfigurasi lambung menjadikan kapal katamaran asimetris *flat side inside* memiliki nilai *sideforce* yang lebih besar dibandingkan dengan kapal katamaran simetris dan berpengaruh terhadap *maneuvering* kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II

### STUDI LITERATUR

#### II.1. Dasar Teori

Kapal katamaran adalah kapal yang memiliki dua lambung kapal. Berbagai keuntungan lebih diberikan oleh kapal katamaran dibandingkan dengan kapal *monohull*. Kapal katamaran memiliki luasan geladak yang lebih luas dan tingkat stabilitas melintang yang lebih baik dibandingkan dengan kapal *monohull* (Insel & Molland, 1990). Kapal katamaran memiliki bermacam konfigurasi lambung, di antaranya adalah *flat side inside* dan simetris.

Dalam penerapannya, performa kapal yang bergerak melakukan *maneuvering* dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain *lift*, *drag* dan *sideforce* yang diberikan untuk menunjang kapal melakukan *maneuvering*. Kemampuan manuver sangatlah penting bagi operasi dan menguatkan kapal dari bahaya tubrukan dan kandas. Hal ini berkaitan dengan keselamatan kapal, yang terdiri dari *turning*, *course change*, *course keeping*, *speed change* dan *stopping ability*. Kemampuan *maneuvering* didefinisikan sebagai kemampuan kapal yang berkaitan dengan gerakan yang disebabkan oleh *steering*. Hal ini merupakan kemampuan yang sangat penting bagi kapal agar dapat melakukan misi dan navigasi pelayarannya. Karena kemampuan manuver sangat penting bagi operasi dan kemampuan kapal untuk menghindari bahaya tubrukan dan kandas, maka hal ini berkaitan erat dengan keamanan (*safety*) kapal. (Fuwa & Tatsuo 1973)

Dalam *maneuvering* kapal ada gaya dari luar atau yang disebut dengan *sideforce* atau gaya samping. *Sideforce* atau gaya samping (gaya sejajar dengan sumbu y) yang dihasilkan dapat diprediksi dengan menggunakan pendekatan Lighthill (Hunter & Joubert, 1988), yang menunjukkan bahwa distribusi kekuatan sisi dapat dinyatakan dalam bentuk "koefisien massa tambahan". Selain *sideforce* gaya angkat pada kapal dapat mempengaruhi performance *maneuvering* kapal sehingga kapal memiliki performa yang berpengaruh terhadap olah geraknya, gaya angkat inilah yang disebut dengan *lift* (Hunter & Joubert, 1988). Gaya angkat merupakan gaya yang tegak lurus terhadap arah pergerakan kapal. Dengan begitu gaya hambat berlawanan dengan arah



pergerakan benda, dan dalam sebuah kendaraan yang digerakkan mesin diatasi dengan gaya dorong atau *drag* (Hunter & Joubert, 1988).

Dalam hubungan antara bagaimana pengaruh *sideforce* terhadap *maneuvering*. Molland dan Turnock, 2007 menjelaskan tentang total *sideforce* dalam hal *maneuvering* kapal, terdiri dari:

- (i) Kontribusi dari kemudi,
- (ii) *Sideforce* karena baling-baling di aliran menyamping,
- (iii) Lambung yang didapatkan karena kombinasi kemudi baling-baling.

(Molland & Turnock, 2007)

## **II.2. Tinjauan Pustaka**

### **II.2.1. Kapal Katamaran**

Kapal katamaran memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan kapal *monohull*. Kapal katamaran memiliki luasan geladak yang lebih luas dan tingkat stabilitas melintang yang lebih baik dibandingkan dengan kapal *monohull* (Insel & Molland, 1990). Keuntungan lain dari bentuk kapal katamaran selain dari segi kenyamanan penumpang adalah bentuk kapal yang berbeda dengan *monohull* membuat hambatan kapal katamaran 20% lebih kecil pada *displacemen* kapal yang sama. Hal ini membuat kapal katamaran mampu menurunkan konsumsi bahan bakar sebesar 20% dibandingkan dengan kapal *monohull*. Selain kelebihan yang dimiliki oleh kapal katamaran, kapal katamaran juga memiliki kekurangan, seperti penggunaan dua lambung katamaran membuat kapal katamaran memiliki manuver yang kurang baik jika dibandingkan dengan kapal *monohull*.

Menurut (Insel & Molland, 1990), kapal katamaran memberikan kebebasan pada aspek desain bentuk lambung kapal dan dimensi dari demihull untuk meningkatkan stabilitas transversal. Aspek desain yang fleksibel ini membuat katamaran dapat didesain relatif asimetris terhadap *centerplan*. Secara umum terdapat tiga macam bentuk dasar dari lambung katamaran yang dapat diadopsi, yaitu:

#### **a. Katamaran Simetris**

Katamaran simetris merupakan desain bentuk lambung katamaran yang diadaptasi langsung dari variasi bentuk lambung konvensional. Tidak adanya batasan dari

stabilitas membuat *demihull* katamaran dapat didesain dengan range yang besar dari L/B, B/T, Cb, Cwp dari monohull seperti bentuk lambung revolusioner SWATH.

**b. Katamaran Asimetris**

Katamaran Asimetris merupakan bentuk katamaran yang dikembangkan dengan menggeser *volume displacement* asimetris di dalam atau di luar *centerline demihull* untuk mengurangi efek interferensi yang merugikan antara demihull. Pada bentuk ini, bentuk lambung kapal di sisi dalam yaitu diantara lambung-lambungannya, tidaklah sepenuhnya asimetris karena tidak sepenuhnya datar. Secara umum, bentuk lambung bagian dalam dilakukan optimisasi untuk mendapatkan interferensi yang menguntungkan.

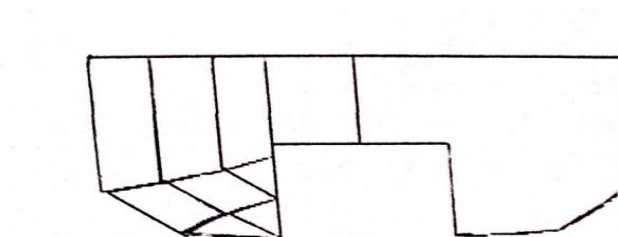
**c. Katamaran Asimetris Penuh**

Katamaran asimetris penuh merupakan bentuk lambung yang diperoleh dengan menggeser semua *volume displacemen* dari simetris *hull* ke salah satu sisi *centerline* seperti membagi *monohull* menjadi dua bagian *centerline*. Bentuk ini juga disebut separuh *monohull* atau lambung sobek.

Katamaran asimetis dan katamaran asimetris penuh dapat digunakan untuk meminimalkan pembentuka gelombang dan percikan di dalam terowongan (daerah antara lambung). Menurut Prof. Jacob van Renen van Niekerk (2002), berdasarkan *performance* kapal katamaran asimetris, kapal katamaran asimetris dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu:

1. Katamaran asimetris tipe C

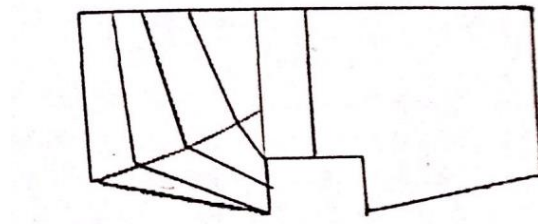
Kapal katamaran tipe C adalah kapal katamaran asimetris berbentuk *sponsons* dan memiliki *deadrise* yang rendah. Performance katamaran tipe C ini tergantung pada besar kecilnya *deadrise* pada bagian bottom. Sama halnya dengan katamaran tipe lain kapal tipe C ini jenis kapal katamaran berkecepatan tinggi.



**Gambar II. 1 Katamaran asimetris Tipe C**  
(Niekerk, 2000)

2. Katamaran asimetris tipe D

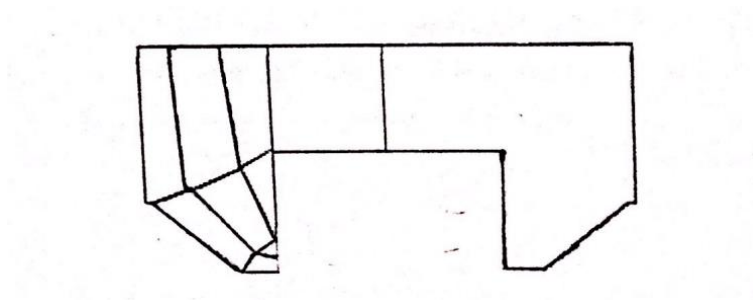
Kapal katamaran tipe D ini dikatakan sebagai *split monohull* dikarenakan pada katamaran ini terowongannya sempit dengan sudut bow yang tajam. Kapal katamaran tipe ini mempunyai kelemahan karakteristik dari katamaran dan *monohull*. Stabilitasnya lebih baik daripada *monohull* namun lebih jelek bila dibandingkan dengan katamaran tipe yang lainnya. Keuntungan katamaran jenis ini adalah dalam proses pembangunannya lebih mudah dan ekonomis bila dibandingkan dengan katamaran tipe lainnya.



**Gambar II. 2 Katamaran asimetris Tipe D**  
(Niekerk, 2000)

3. Katamaran asimetris tipe E

kapal katamarana jenis ini memiliki kerampingan yang tinggi dan memiliki ketinggian terowongan yang cukup tinggi. Desain kapal katamaran tipe ini dapat mengurangi hambatan gelombang. Karena sangat ramping, katamaran tipe ini memiliki beberapa kelemahan yaitu stabilitas yang dimiliki kapal tipe ini kurang bagus serta tidak dapat digunakan di daerah perairan yang memiliki gelombang besar.

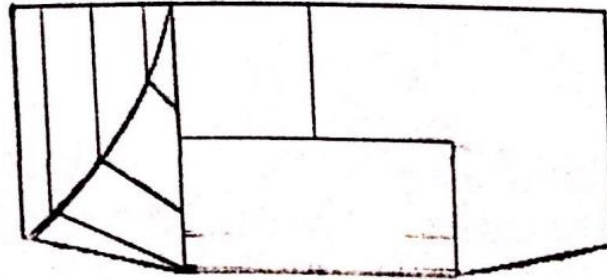


**Gambar II. 3 Katamaran asimetris Tipe E**  
(Niekerk, 2000)

4. Katamaran asimetris tipe H

Tipe katamaran jenis ini mempunyai nama HySuCat. Selain itu, kapal katamaran tipe ini memiliki dasar *deadrise* yang tinggi dan ketinggian

terowongannya menengah. Kapal kataman ini memiliki nilai kecepatan yang bagus dan gelombang yang ditimbulkan sangat kecil. Namun diantara kelebihan tersebut kapal katamaran ini memiliki kelemahan pada saat *docking* atau bersandar karena pada bagian sisi lambung terdapat foil.



**Gambar II. 4 Katamaran asimetris Tipe H**  
(Niekerk, 2000)

### **II.2.2. Sideforce**

Dalam *maneuvering* kapal ada gaya dari luar atau yang disebut dengan *external force*, yaitu *sideforce* atau gaya samping. *Sideforce* atau gaya samping (gaya sejajar dengan sumbu y) yang dihasilkan dapat diprediksi dengan menggunakan pendekatan Lighthill, yang menunjukkan bahwa distribusi kekuatan sisi dapat dinyatakan dalam bentuk "koefisien massa tambahan". Selain *sideforce* gaya angkat pada kapal dapat mempengaruhi performa *maneuvering* kapal sehingga kapal memiliki performa yang berpengaruh terhadap olah geraknya, gaya angkat inilah yang disebut dengan *lift*. Dimana gaya angkat merupakan gaya yang tegak lurus terhadap arah pergerakan kapal. Dengan demikian gaya hambat berlawanan dengan arah pergerakan benda, dan dalam sebuah kendaraan yang digerakkan mesin diatasi dengan gaya dorong atau *drag* (Hunter & Joubert, 1988).

Penelitian mengenai *sideforce* dilakukan oleh Couser dkk (1998) difokuskan terutama untuk menghitung *induced drag* dan gaya samping (*sideforce*) pada katamaran. Hal ini dilatarbelakangi oleh aliran asimetrik yang mengenai katamaran. Gaya samping yang dihasilkan masing-masing demihull bekerja berlawanan dan meniadakan, sedangkan *induced drag* pada kedua demihull bekerja bersamaan untuk menghambat gerakan maju kapal. Pada eksperimen tersebut, jarak antara demihull yang digunakan adalah  $S/L$  0.225 dan 0.329 yang divariasikan dengan beberapa *Froude Number* ( $F_n$ ). Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa *induced drag* yang ditimbulkan katamaran dapat diabaikan namun *sideforce* yang dihasilkan cukup

*significant*. *Sideforce* yang dihasilkan menurun dengan cepat ketika adanya peningkatan jarak antara lambung.

Koeffisien *sideforce* terdiri dari *yaw angle* pada variasi kecepatan kapal katamaran serta WSA (*wet surface area*) pada *single demihull*. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{sideforce coefficient (CI)} = \frac{\text{side force}}{\frac{1}{2} \mu \text{ WSA } U^2} \quad (\text{II.1})$$

$$\text{sideforce coefficient (CI)} = \frac{\text{Drag at incident} - \text{Drag at zero incident}}{\frac{1}{2} \mu \text{ WSA } U^2} \quad (\text{II.2})$$

(Couser dkk, 1998)

### II.2.3. Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD adalah metode perhitungan, memprediksi dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer berkecepatan tinggi. Aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak sekali jenis dan karakteristik tertentu yang begitu kompleks, CFD melakukan pendekatan dengan metode numerasi serta menggunakan persamaan-persamaan fluida.

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan salah satu metode perhitungan dalam sebuah control dimensi, luas dan *volume* dengan memanfaatkan bantuan komputer dalam melakukan perhitungan disetiap elemen-elemen pembagiannya. CFD juga didefinisikan sebagai suatu proses analisa terhadap suatu sistem tertentu yang melibatkan masalah perpindahan panas, aliran fluida, distribusi kecepatan dan fenomena terkait dengan dinamika fluida dimana proses perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan komputer (Versteeg dan Malalasekera, 2007).

CFD adalah penghitungan yang mengkhususkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, *heat transfer* dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta species, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah

persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Inisialisasi awal dari persamaan adalah *boundary condition*. *Boundary condition* adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan CFD antara lain (Versteeg dan Malalasakera, 2007):

- a. Meminimalkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
- b. Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan eksperimen.
- c. Memiliki kemampuan untuk studi dibawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
- d. Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Perbedaan tingkat akurasi eksperimen dengan CFD adalah jika data eksperimen tingkat akurasi akan bergantung pada alat yang digunakan. Sedangkan akurasi dari solusi numerik, dalam hal ini adalah CFD bergantung pada kualitas diskritasi yang digunakan. Diskritasi merupakan persamaan yang digunakan untuk menghasilkan persamaan *continue* yang dapat diinput ke dalam komputer. Diskritasi sendiri merupakan proses untuk membagi suatu domain ke dalam bentuk *cell* atau *grid*. CFD disusun berdasarkan algoritma numerik yang mampu untuk mengatasi masalah aliran fluida. Komponen-komponen yang dibutuhkan dalam algoritma numerik adalah model matematika dan metode diskritasi.

Terdapat 3 konsep matematika yang berguna dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma (Versteeg dan Malalasakera, 2007):

1. Konvergensi

Konvergensi merupakan property metode numerik untuk menghasilkan solusi yang mendekati solusi eksakta sebagai *grid spacing*.



## 2. Konsistensi

Konsistensi merupakan suatu persamaan numerik yang menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan ekuivalen dengan persamaan pengendali sebagai grid spasi mendekati nol.

## 3. Stabilitas

Stabilitas yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan bahkan dalam data awal dapat menyebabkan osilasi atau divergensi.

Program CFD terdiri dari tiga tahap yaitu : Pre-processor, Processor, dan Post-processor. PreProcessor, merupakan tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Pada tahap ini juga, sebuah obyek atau benda dan ruangnya yang melingkupinya akan dianalisis dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu. Hal ini sering disebut dengan *meshing*. Processor, merupakan tahap dilakukannya proses perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iterative. Pada tahap ini perhitungan dilakukan hingga menuju eror terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. Post-processor, merupakan tahap dimana hasil perhitungan diinterpretasikan kedalam gambar, grafik, bahkan animasi dengan pola warna tertentu.

Prosedur berikut terdapat pada pendekatan program CFD, yaitu (Tuakia, 2008):

- Pembuatan geometri dari model/*problem*.
- Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (*meshing*).
- Pendefinisian model fisiknya, misalnya: persamaan gerak (zat-zat yang didefinisikan, biasanya berupa komponen dari suatu reaktan).
- Pendefinisian kondisi-kondisi batas, termasuk didalamnya sifat-sifat dan perilaku dari batas-batas model/*problem*. Untuk kasus transien, kondisi awal juga didefinisikan.
- Persamaan-persamaan matematika yang membangun CFD diselesaikan secara iterative, bisa dalam kondisi *steady state* atau transien.

Pada proses pemodelan kapal katamaran, analisa CFD akan dilakukan dengan bantuan software ICEM CFD dan CFX yang merupakan produk dari ANSYS. ICEM

CFD digunakan pada tahap pembuatan geometri lambung tahap *meshing* baik pada model maupun pada fluida. Sedangkan untuk pengerjaan tahap selanjutnya digunakan CFX. Analisa CFD yang akan dilakukan pada pemodelan lambung katamaran ini adalah pemodelan aliran dan perhitungan besarnya *sideforce* pada lambung tersebut, visualisasi aliran fluida.

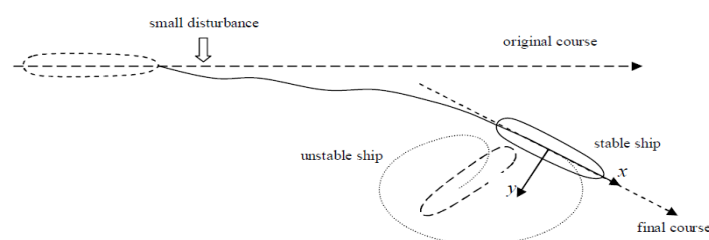
#### II.2.4. *Maneuvering*

Kemampuan manuver sebuah kapal dapat didefinisikan sebagai kemampuan kapal untuk mempertahankan atau mengubah posisi dari gerakan kapal dibawah kontrol. Kemampuan ini menjadi sangat penting ketika kapal berlayar di daerah yang sempit. Sebagai contoh adalah ketika kapal berlayar dalam areal kolam pelabuhan untuk bersandar. *Maneuvering* kapal adalah kemampuan kapal untuk tetap menjaga posisinya atau berubah posisi dari posisi semula dengan kendali kapal itu sendiri, misalnya menjaga kapal berjalan dengan kecepatan konstan, atau dengan kecepatan yang berubah-ubah, kapal bergerak atau tetap berada pada posisi awalnya dengan mengikuti juru mudi.

Untuk mengukur kemampuan manuver sebuah kapal, umumnya adalah ketika kapal melakukan *sea trial*. Namun, seiring perkembangan zaman kini kemampuan manuver sebuah kapal dapat diprediksi dengan program / *software*.

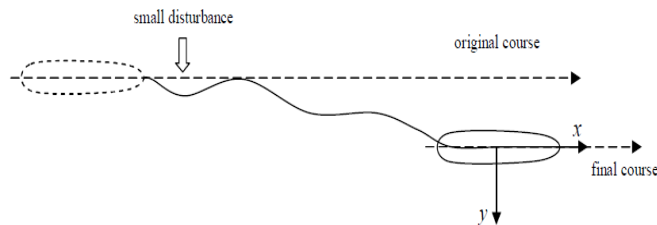
Dalam manuver kapal ada beberapa hal yang harus di perhatikan:

1. *Inherent dynamic stability*, atau yang juga disebut dengan *straight line stability*. Suatu kapal terkadang dapat bergerak dinamis ketika berjalan lurus, dengan gangguan-gangguan kecil kapal akan berada pada kondisi *stright* course yang lain, hal itu terjadi secara otomatis dan tidak dapat dikendalikan. Hasil dari penyimpangan dari jalur yang awal (*original staright course*) tergantung dari sudut *inherent stability* dari kapal dan besarnya gangguan yang di alami kapal. Dapat dilihat pada Gambar II.5 pada kondisi kapal yang bergerak tidak stabil, pada akhirnya kapal akan memasuki kondisi *unsteady turning motion*.



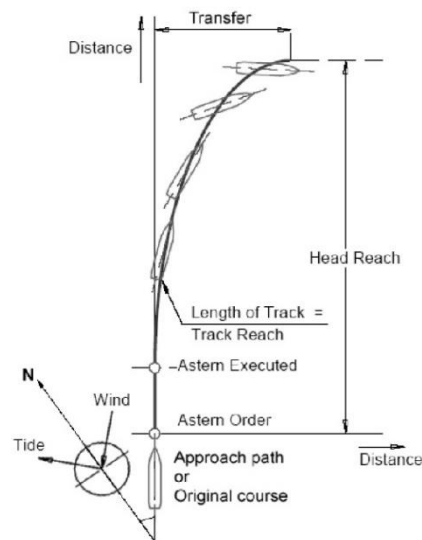
**Gambar II. 5 *Inherent dynamic stability***  
(Bertram, 2002)

2. *Course keeping ability*, atau yang juga disebut dengan *directional stability*. *Course keeping ability* adalah kemampuan kapal untuk mempertahankan posisi kapal tetap berada pada *original course direction*. Dapat dilihat pada Gambar II.6 dimana kapal yang mengalami *inherent dynamic stability* dapat mempertahankan posisinya pada *original course direction* karena dapat di kontrol.



**Gambar II. 6 Course-keeping ability**  
(Bertram, 2002)

3. *Initial turning/course changing ability*, *initial turning/course changing ability* adalah kemampuan kapal untuk mengubah gerakannya sebagai akibat dari kendali yang diberikan pada kapal. Kapal yang baik memiliki *initial turning ability* dan/atau *course changing ability* yang cepat untuk berbelok atau berpindah dari posisi semula (*original course*) setelah dikendalikan.
4. *Yaw checking ability*, *yaw checking ability* adalah kemampuan mengendalikan kapal akibat gerakan dari *rudder* yang dapat mengakibatkan kapal berbelok.
5. *Turning ability*, *turning ability* adalah kemampuan kapal berbelok karena pengaruh yang diberikan *rudder* yang berbelok.



**Gambar II. 7 Turning ability**  
(Bertram, 2002)

6. *Stopping ability, stopping ability* adalah kemempauan menghentikan kapal dengan menghentikan (*inertia syop*) atau *engine full astern (crash stop)* mesin ketikan kapal bergerak stabil dengan kecepatan penuh (Bertram, 2002).

**a. Persamaan Dasar Dari Gerakan Manuver Kapal**

Sebuah kapal yang berjalan dengan kecepatan konstan dalam air bergelombang dan air yang tenang. Gerakan manuver kapal karena kemudi digambarkan oleh sudut *yaw*  $\Psi$  (menuju arah sudut), kecepatan kearah maju  $u$ , kecepatan melintang  $v$  dari pusat gravitasi kapal dan sudut kemudi  $\delta$  (drift sudut  $\beta = -v/u$ ). Sudut positif kemudi searah dengan arah *positive yawning*. Perilaku dinamis jumlah ini juga diatur oleh Newton dalam hukum *rigid body dynamics*. Dapat ditulis seperti persamaan berikut sehubungan dengan sumbu disepakati pada sebuah kapal yang ditunjukkan dalam Gambar II.8, dijelaskan dengan persamaan Euler (Fuwa & Tatsuo 1973).

$$\left. \begin{aligned} m\dot{u} - mvr &= X(u, v, r, \delta, \dot{u}, \dot{r}, \dot{v}) \\ m\dot{v} + mur &= Y(u, v, r, \delta, \dot{u}, \dot{r}, \dot{v}) \\ I\dot{r} &= N(u, v, r, \delta, \dot{u}, \dot{r}, \dot{v}) \end{aligned} \right\} \quad (II.3)$$

dimana,

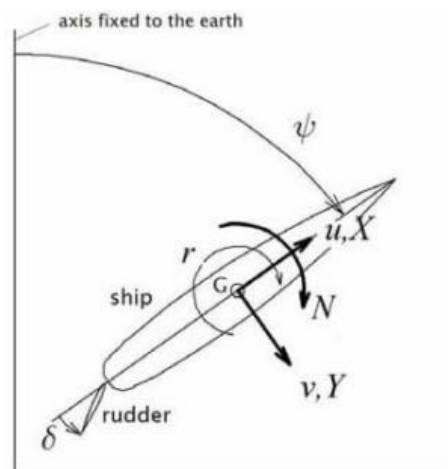
$m$  : massa kapal

$I$  : Momen inersia memperhatikan sumbu vertikal di pusat gravitasi kapal

$X, Y$  : Gaya-gaya hidrodinamika secara memanjang dan melintang yang bekerja pada kapal

$N$  : gaya atau momen hidrodinamika yang bekerja pada kapal

$r$  : kecepatan angular dari belokan, yang memiliki hubungan,  $r = \dot{\Psi}$



**Gambar II. 8 Coordinate system maneuvering motion (Fuwa & Tatsuo 1973)**

**b. The Characteristic of Hydrodynamics Damping Force and Propeller, Rudders of Exciting Force**

X, Y, N di sisi kanan persamaan (II.3) disebut *Damping Force hydrodynamic* dan momen karena bergantung pada kecepatan kapal,  $u$ ,  $v$  dan  $r$ . Mereka terdiri dari gaya atau momen yang bekerja pada hull, baling-baling dan kemudi. Mereka bergantung pada bentuk dan konfigurasi dari lambung, baling-baling dan kemudi, yang dipengaruhi oleh kondisi aliran serta kondisi kerja seperti baling-baling dan perubahan pada sudut kemiringan kemudi.

$$\left. \begin{aligned} \overline{X} &= X_M + X_P + X_R \\ \overline{Y} &= Y_M + Y_P + Y_R \\ \overline{N} &= N_M + N_P + N_R \end{aligned} \right\} \quad (II.4)$$

Dimana,

M : gaya atau momen karena gerak kapal

P : gaya atau momen karena tindakan baling-baling

R : gaya atau momen karena tindakan kemudi

Presentasi dari X, Y, N sebagai fungsi dari kecepatan tersebut adalah banyak gabungan. Aliran di sekitar hull sangat sulit untuk dianalisa secara teoritis karena efek gesekan dan geometri yang kompleks dari permukaan lambung. Hal itu juga dipengaruhi oleh aliran slip baling-baling dan kemudi bekerjasecara bersamaan. Dengan ini syarat hubungn hidrodinamika pada lambung kapal, baling-baling dan kemudi dan gerakan mereka ditunjukkan. Kemudian ada dapat dianggap beberapa model efek mereka, tetapi representasi sempurna belum ada. Sulit untuk menunjukkan di cukup secara detail (Fuwa & Tatsuo 1973).

**c. Force And Moment Due To Ship Motion**

Gaya-gaya dan momen pada hidrodinamika dijelaskan sebagai berikut mengikuti dalam kasus hull simetris secara melintang.

$$\left. \begin{aligned} X_M &= -R(u) + X_{vv}v^2 + X_{vr}vr + X_{rr}r^2 \\ Y_M &= Y_vv + Y_{rr}r + Y_{vvv}v^3 + Y_{vvr}v^2r + Y_{rrr}r^3 \\ N_M &= N_vv + N_{rr}r + N_{vvv}v^3 + N_{vvr}v^2r + N_{vrr}vr^2 + N_{rrr}r^3 \end{aligned} \right\} \quad (II.5)$$

Disini R adalah hambatan yang berlawanan dengan arah kapal yang tergantung pada kecepatan  $u$ . Istilah  $Y_vv$ ,  $N_vv$  menyerupai gaya angkat dan momen pada sayap. Persyaratan linier bergantung kepada variabel  $v$  dan  $r$  yang memberikan peran penting

dalam respon mengarahkan arah gerakan kapal yang kemudian disebut turunan manuver pada lambung kapal.

**d. Force and moment due to the rudder action.**

Bentuk penampang horisontal kemudi simetris dan sama dengan bagian-bagian sayap pesawat. Kemudi menghasilkan gaya angkat oleh sudut steered. Gaya angkat biasanya didefinisikan sebagai  $F_N$  gaya normal pada kemudi simetris pesawat (Lihat gambar 4.) dan disajikan oleh:

$$F_N = (1/2) \rho \cdot A_R \cdot U_R^2 \cdot f_R \cdot \sin \alpha_R \quad (\text{II.6})$$

Dimana,

$\alpha_R$  : sudut yang terjadi di aliran fluida yang bekerja di sekitar kemudi yang dibuat oleh kemudi mengarahkan sudut dan resultan aliran baling-baling slip stream dan kapal mengubah gerak.

$f_R$  : koefisien kinerja dari bagian kemudi sebagai sebuah sayap.

$A_R$  : luasan kemudi

$U_R$  : kecepatan aliran di sekitar kemudi



Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **III.1. Metode**

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini digunakan metode analisa, simulasi, dan perhitungan secara sistematis. Secara detail penelitian yang dilakukan dalam kajian Tugas Akhir ini berupa simulasi model dengan *Software Ship Design* melalui CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Prosedur pengerjaan Tugas Akhir ini disusun dengan urutan sebagai berikut:

##### **III.1.1. Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk lebih memahami permasalahan yang ada, sehingga memunculkan dugaan-dugaan awal yang selanjutnya bisa disusun menjadi sebuah hipotesis awal. Studi literatur yang dilakukan adalah yang berkaitan dengan pemahaman teori dan konsep dari perhitungan mengenai besarnya nilai *sideforce* yang dihasilkan dari adanya konfigurasi lambung dari kapal katamaran asimetris dan kapal katamaran *flat side inside* (asimetris). Kemudian dilanjutkan untuk menganalisa mengenai pengaruh yang dihasilkan dari besarnya *sideforce* dari kapal katamaran simetris dan katamaran *flat side inside* (asimetris) terhadap *maneuvering* kapal.

##### **III.1.2. Pengumpulan Data**

Data yang diperlukan untuk mengerjakan Tugas Akhir ini dikumpulkan dari berbagai sumber antara lain melalui referensi penelitian sebelumnya dan *browsing* data dari internet. Data yang dibutuhkan seperti data ukuran kapal diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dimensi kapal yang digunakan dalam simulasi CFD mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan oleh Couser dkk, (1998) , *Experimental Measurement of Sideforce and Drag on Catamaran Demihulls*.

##### **III.1.3. Pemodelan, Simulasi CFD**

Pada penelitian tugas akhir ini, pemodelan dibagi menjadi dua bagian utama yaitu pemodelan uji numerik dan analisa terhadap *maneuvering*. Untuk uji numerik, pemodelan

diklasifikasikan dalam dua bagian, yaitu desain lambung kapal katamaran simetris dan lambung kapal katamaran asimetris *flat side inside*. Dalam proses numerik *software-software* yang digunakan adalah:

- a) *Maxsurf Modeler Advanced Software* ini digunakan untuk memodelkan bentuk lambung kapal katamaran simetris dan lambung kapal katamaran *flat side inside* (asimetris) yang kemudian desain diubah dalam bentuk .igs yang selanjutnya akan diekspor ke ICEM-CFD
- b) ICEM-CFD Merupakan tahap pemodelan tingkat lanjut yang digunakan untuk proses *pre-processor*. Pada proses ini juga dilakukan pembuatan *boundary condition* seperti model kapal, surface *inlet*, *oulet*, *wall*, *top (opening)*, dan *bottom*, serta pembuatan body fluida sebagai media. Pada *boundary* tersebut akan dilakukan proses *meshing*. *Meshing* atau *grid* tersusun atas sel-sel (segitiga, *tetra/mixed*, *hexa-dominant*).
- c) *Computational Fluid Dynamics (CFD)* Digunakan aplikasi CFD sebagai *solver* dan *simulator* dalam penelitian Tugas Akhir ini. Berikut ini merupakan tahapan yang digunakan dalam simulasi CFD:
  - *Pre-Processor* Pada tahap ini digunakan *software* ANSYS CFX-PRE untuk menentukan kondisi lingkungan yang meliputi *Inlet*, *outlet*, interaksi dinding batas dengan fluida dan objek pengujian, kecepatan aliran fluida, temperatur dan kondisi-kondisi lainnya yang berpengaruh pada proses pengujian.
  - *Solver* atau *processor* merupakan tahap perhitungan yang dilakukan pada aplikasi CFD. Dalam proses *solver* ini ditentukan batas konvergensi dengan besaran tertentu guna mencapai hasil yang diinginkan.
  - *Post-Processor* Pada tahap akhir dilakukan perhitungan, analisa, dan visualisasi hasil menggunakan program ANSYS CFX-POST. Aplikasi ini menyediakan informasi berupa data, gambar dan animasi.

#### **III.1.4. Validasi**

Pada proses ini dipastikan bahwa metode dan hasil yang diperoleh dari simulasi CFD valid dan dapat dianggap benar. Sehingga data yang diperoleh dapat digunakan untuk tahapan selanjutnya. Hasil simulasi dikatakan valid apabila selisih antara *grid independence* kurang dari 2%. Apabila hasil simulasi melebihi 2%, maka perlu dilakukan simulasi ulang dengan memperbaiki *meshing*.

### III.1.5. Analisa Data dan Penyelesaian

Pada tahap ini dilakukan analisis data hasil dari simulasi model numerik dan perhitungan secara teori serta berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya. Pada simulasi numerik adalah nilai besarnya *sideforce* yang bekerja pada masing-masing bentuk lambung katamaran yang berbeda tipe, yaitu pada kapal katamaran simetris dan pada kapal katamaran asimetris *flat side inside*. Kemudian setelah diperoleh besarnya nilai *sideforce* maka selanjutnya dilakukan analisa pengaruh *sideforce* terhadap *maneuvering*. Setelah analisa dilakukan, maka dari hasil analisa tersebut dibuat kesimpulan untuk merangkum keseluruhan hasil penelitian. Langkah terakhir dari rangkaian penelitian Tugas Akhir ini adalah pendokumentasian laporan hasil penelitian yang telah dilakukan.

### III.2. Bahan dan Peralatan

Dalam pengerjaannya penelitian ini menggunakan software, dimana software yang digunakan antara lain:

- Menggunakan software Maxsurf Modeller Advanced dalam proses desain model kapal katamaran simetris dan asimetris (*flat side inside*).
- Menggunakan software ansys 2016 ICEM yang digunakan dalam proses *meshing* dan penentuan *boundary layer* atau kondisi batas yang akan digunakan dalam proses *running*.
- Menggunakan software ansys 2016 CFX dalam proses *running* dan menentukan nilai *sideforce* dari kapal katamaran simetris dan katamaran asimetris (*flat side inside*).

### III.3. Proses Pengerjaan

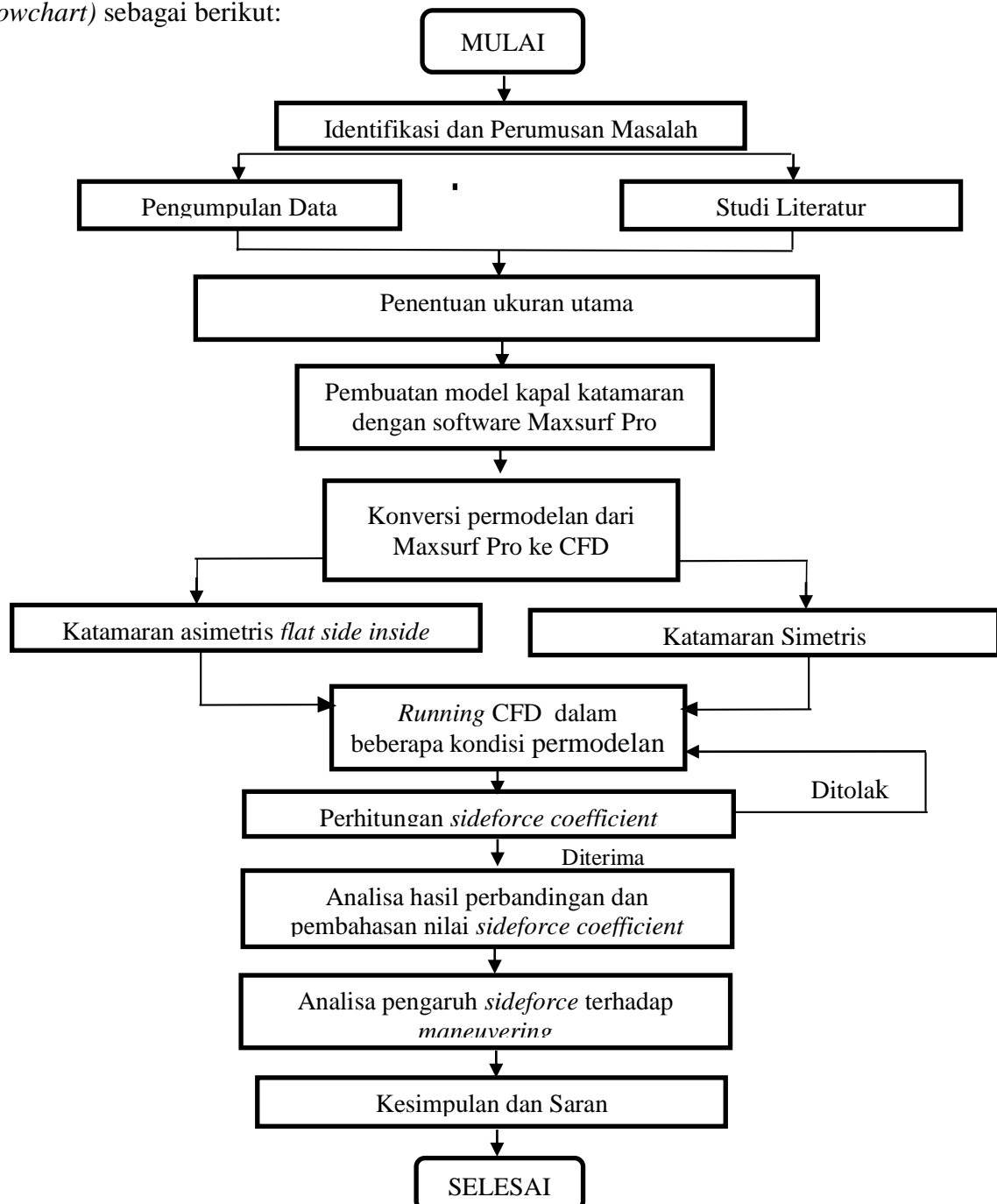
Secara garis besar metodologi penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penentuan ukuran utama kapal dan displacemen kapal.
2. Pembuatan dua model kapal katamaran dengan software *Maxsurf Modeller Advanced*. Model yang dibuat adalah katamaran *flat side inside* dan katamaran simetris.
3. Pendefinisian model dimaksudkan agar model yang telah dibuat dapat dikenali oleh CFD-Ansys.
4. Input data yang dilakukan adalah pemasukan kondisi batas berdasarkan data eksperimen.

5. Perhitungan yang diharapkan akan memperoleh nilai dari *sideforce coefficient* kapal.
6. Hasil dari running program ANSYS-CFD adalah berupa besar *sideforce*.
7. Perhitungan yang diharapkan akan memperoleh nilai dari *sideforce coefficient* kapal pada setiap sudut kemiringan yang sudah ditentukan.
8. Hasil yang telah memenuhi kriteria akan disusun sebagai Tugas Akhir.

#### III.4. Bagan Alir

Metodologi dalam pengerjaan tugas akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir (*flowchart*) sebagai berikut:



## BAB IV

### PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI CFD

#### IV.1. Pembuatan Model Uji Numerik

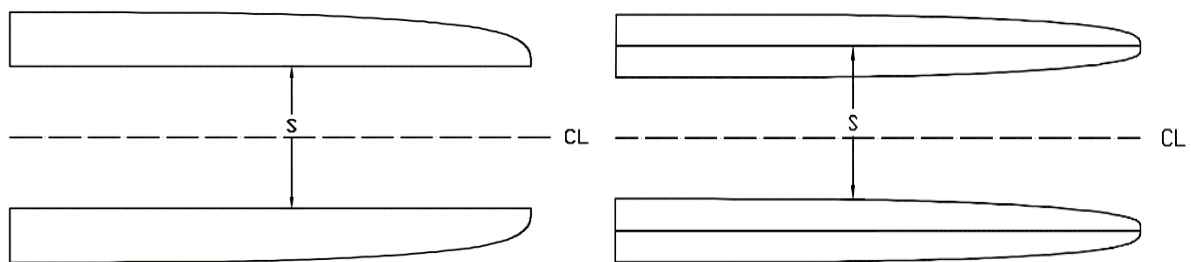
Dalam penelitian yang dilakukan dengan metode numerik dengan menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics), pembuatan model kapal menggunakan program *Maxsurf Modeller Advanced*, dimana perancangan dimensi kapal mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan oleh Couser dkk (1998) yang meneliti mengenai *sideforce coefficient* pada kapal katamaran simetris. Dari penelitian yang sudah dilakukan tersebut maka diperoleh data rasio dimensi sebagai berikut:

**Tabel IV. 1 Tabel Rasio Dimensi**

L/B	11.0
B/T	2.0
L	1.6 m

Pada tugas akhir ini pembuatan model dibagi menjadi dua subyek besar, yaitu kapal katamaran Simetris dan kapal katamaran Asimetris *Flat side inside*. Hal ini ditujukan karena adanya perbedaan dari variasi bentuk lambung yang ada pada kapal katamaran. Dari dua subyek besar tersebut akan divariasikan dengan adanya perbedaan S/L pada kapal katamaran Simetris dan kapal katamaran Asimetris *Flat side inside*. Variasi S/L yang dilakukan adalah 0.2, 0.3, dan 0.4.

Data kapal dalam penelitian di tampilkan dalam Tabel IV.2 untuk kapal katamaran Asimetris *Flat side inside* dan Tabel IV.3 untuk kapal katamaran Simetris.



**Gambar IV. 1 Konfigurasi Dasar Lambung Katamaran**

**Tabel IV. 2 Data Kapal Katamaran Asimetris *Flat Side Inside***

ASIMETRIS <i>FLAT SIDE INSIDE</i>			
	S/L		
	0.2	0.3	0.4
L	8 m	8 m	8 m
LPP	7.884 m	7.884 m	7.884 m
B <sub>1</sub>	0.72 m	0.72 m	0.72 m
B <sub>2</sub>	3.04 m	3.84 m	4.64 m
S	1.6 m	2.4 m	3.2 m
T	0.36 m	0.36 m	0.36 m
V <sub>s</sub>	6 knot	6 knot	6 knot
H	0.75 m	0.75 m	0.75 m
CB	0.646	0.651	0.646

**Tabel IV. 3 Data Kapal Katamaran Simetris**

SIMETRIS			
	S/L		
	0.2	0.3	0.4
L	8 m	8 m	8 m
LPP	7.807 m	7.807 m	7.807 m
B <sub>1</sub>	0.72 m	0.72 m	0.72 m
B <sub>2</sub>	2.32 m	3.12 m	3.92 m
S	1.6 m	2.4 m	3.2 m
T	0.36 m	0.36 m	0.36 m
V <sub>s</sub>	6 knot	6 knot	6 knot
H	0.75 m	0.75 m	0.75 m
CB	0.502	0.502	0.502

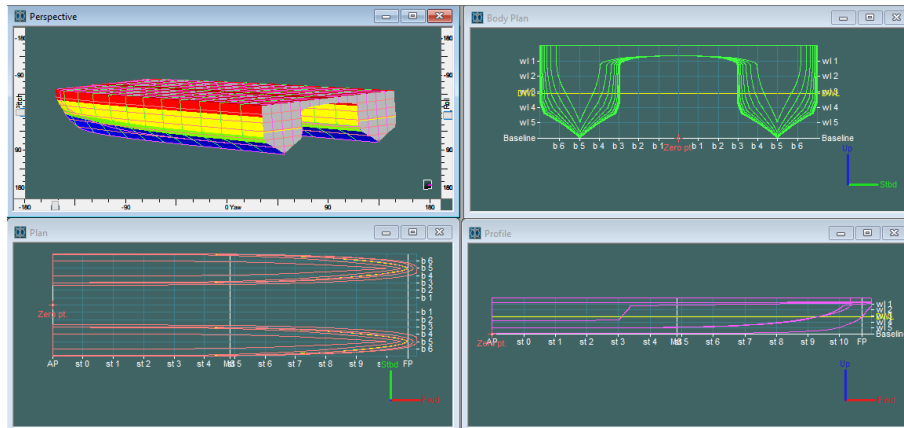
Dimana:

B<sub>1</sub> : Lebar Demihull

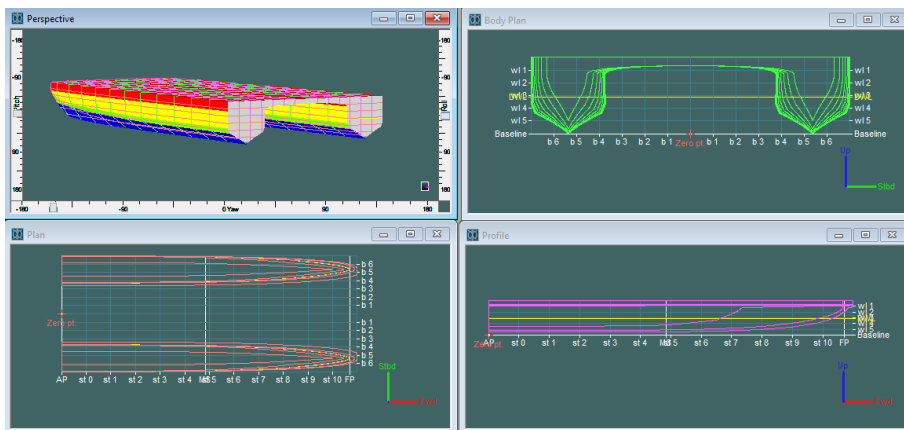
B<sub>2</sub> : Lebar Kapal Katamaran

#### **IV.1.1. Lambung katamaran Simetris**

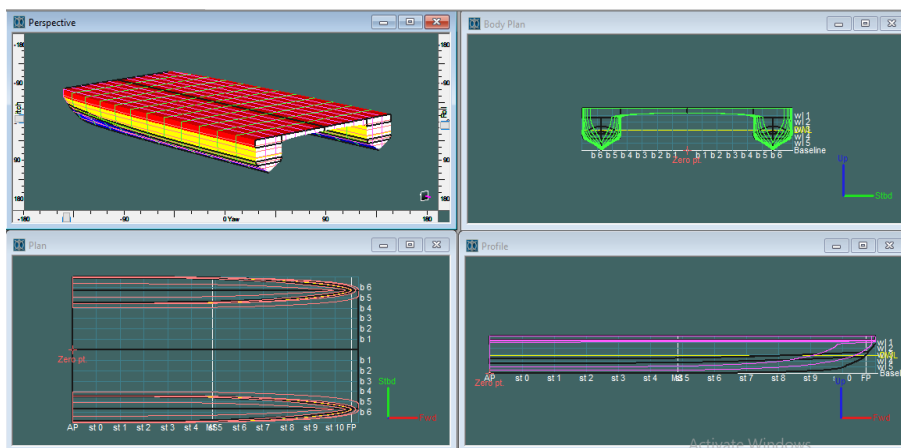
Berdasarkan data rasio yang ada pada penelitian Couser dkk (1998) dilakukan permodelan untuk kapal katamaran Simetris dengan menggunakan *Maxsurf Modeller Advanced* sebagai berikut:



**Gambar IV. 3 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Simetris  $S/L=0.2$  yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf**



**Gambar IV. 4 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Simetris  $S/L=0.3$  yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf**



**Gambar IV. 2 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Simetris  $S/L=0.4$  yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf**



Dari model kapal yang sudah di gambar di Maxsurf Modeller Advanced maka diperoleh data hidrostatik untuk kapal katamaran Simetris  $S/L=0.2$  dan  $S/L=0.3$  sebagai berikut:

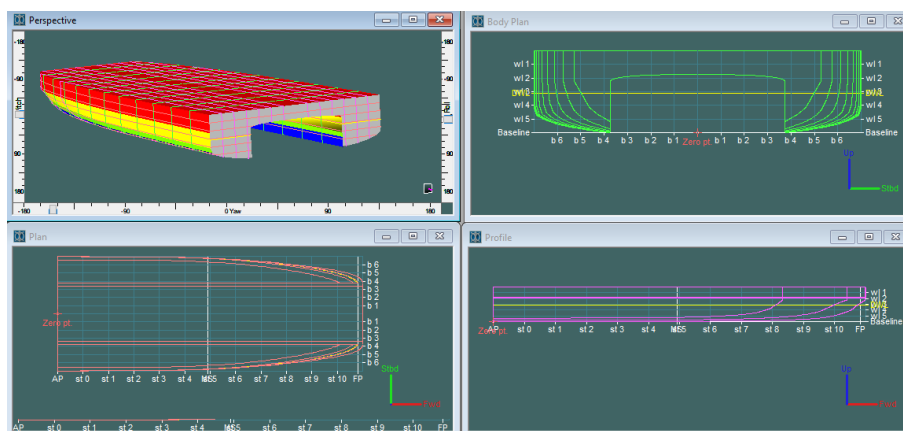
Hydrostatics at DWL			Hydrostatics at DWL			Hydrostatics at DWL		
Measurement	Value	Units	Measurement	Value	Units	Measurement	Value	Units
1 Displacement	1,864	t	1 Displacement	2,096	t	1 Displacement	2,096	t
2 Volume (displaced)	1,818	m <sup>3</sup>	2 Volume (displaced)	2,045	m <sup>3</sup>	2 Volume (displaced)	2,045	m <sup>3</sup>
3 Draft Amidships	0,360	m	3 Draft Amidships	0,360	m	3 Draft Amidships	0,360	m
4 Immersed depth	0,360	m	4 Immersed depth	0,360	m	4 Immersed depth	0,360	m
5 WL Length	7,807	m	5 WL Length	7,807	m	5 WL Length	7,807	m
6 Beam max extents o	2,249	m	6 Beam max extents o	3,129	m	6 Beam max extents o	3,929	m
7 Wetted Area	14,389	m <sup>2</sup>	7 Wetted Area	15,183	m <sup>2</sup>	7 Wetted Area	15,183	m <sup>2</sup>
8 Max sect. area	0,306	m <sup>2</sup>	8 Max sect. area	0,344	m <sup>2</sup>	8 Max sect. area	0,344	m <sup>2</sup>
9 Waterpl. Area	8,364	m <sup>2</sup>	9 Waterpl. Area	9,405	m <sup>2</sup>	9 Waterpl. Area	9,405	m <sup>2</sup>
10 Prismatic coeff. (Cp)	0,762		10 Prismatic coeff. (Cp)	0,762		10 Prismatic coeff. (Cp)	0,762	
11 Block coeff. (Cb)	0,499		11 Block coeff. (Cb)	0,499		11 Block coeff. (Cb)	0,499	
12 Max Sect. area coeff	0,656		12 Max Sect. area coeff	0,656		12 Max Sect. area coeff	0,656	
13 Waterpl. area coeff.	0,827		13 Waterpl. area coeff.	0,827		13 Waterpl. area coeff.	0,827	
14 LCB length	3,129	from z	14 LCB length	3,129	from z	14 LCB length	3,129	from z
15 LCF length	3,363	from z	15 LCF length	3,363	from z	15 LCF length	3,363	from z
16 LCB %	40,082	from z	16 LCB %	40,082	from z	16 LCB %	40,082	from z
17 LCF %	43,079	from z	17 LCF %	43,079	from z	17 LCF %	43,079	from z
18 KB	0,236	m	18 KB	0,236	m	18 KB	0,236	m
19 KG fluid	0,000	m	19 KG fluid	0,000	m	19 KG fluid	0,000	m
20 BMt	3,086	m	20 BMt	6,802	m	20 BMt	11,958	m
21 BMl corrected	3,322	m	21 BMl corrected	19,203	m	22 GML corrected	12,194	m
22 GML	19,439	m	23 GML	19,439	m	23 GML	19,439	m
24 KML	3,322	m	24 KML	7,039	m	24 KML	12,194	m
25 KMl	19,439	m	25 KMl	19,439	m	25 KMl	19,439	m
26 Immersion (TPc)	0,086	tonne/c	26 Immersion (TPc)	0,096	tonne/c	26 Immersion (TPc)	0,096	tonne/c
27 MTC	0,046	tonne.	27 MTC	0,052	tonne.	27 MTC	0,052	tonne.
28 RM at 1deg = GMLDi	0,108	tonne.	28 RM at 1deg = GMLDi	0,257	tonne.	28 RM at 1deg = GMLDi	0,446	tonne.

Density (water) 1.025 tonne/m<sup>3</sup>  
Std. densities 1.025 tonne/m<sup>3</sup> - Std. Metric sea water (1025.0 kg/m<sup>3</sup>)  
VCG 0 m  
Recalculate  
Select Rows ... Close

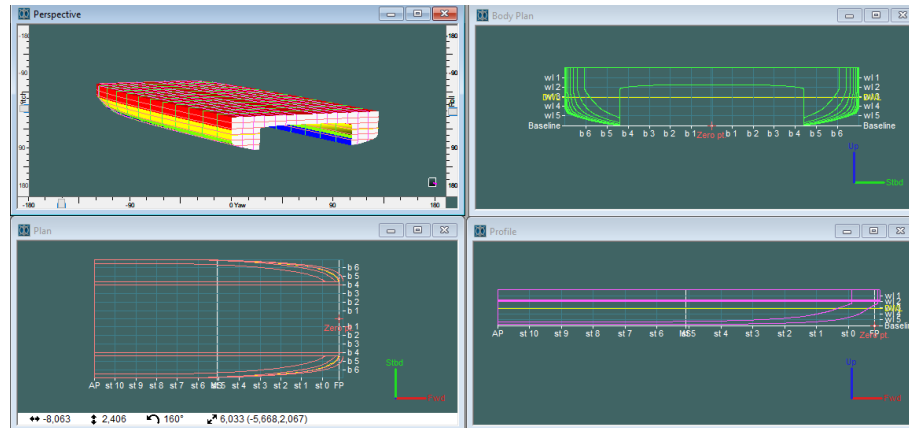
**Gambar IV. 5 Data Hidrostatik kapal katamaran Simetris  $S/L=0.2$ ,  $S/L=0.3$  dan  $S/L=0.4$  berdasarkan Maxsurf Modeller Advanced**

#### IV.1.2. Lambung katamaran Asimetris *Flat side inside*

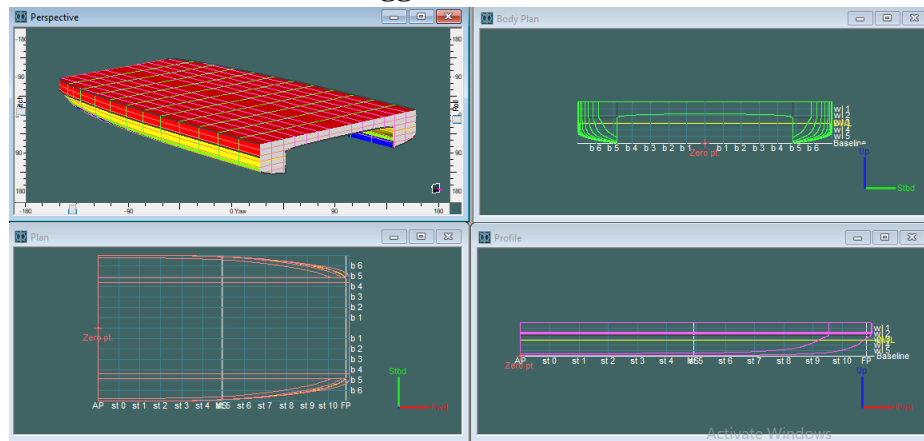
Permodelan yang dilakukan pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* juga mengikuti rasio dimensi sama seperti pada kapal katamaran simetris yang mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan oleh Couser dkk (1998), maka model untuk kapal katamaran Asimetris *flat side inside* sebagai berikut:



**Gambar IV. 6 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Asimetris *Flat side inside*  $S/L=0.2$  yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf**



**Gambar IV. 8 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Asimetris *Flat side inside* S/L=0.3 yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf**



**Gambar IV. 7 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal Katamaran Asimetris *Flat side inside* S/L=0.4 yang di Gambar Dengan Menggunakan Maxsurf**

Dari model kapal yang sudah di gambar di *Maxsurf Modeller Advance* maka diperoleh data hidrostatik untuk kapal katamaran Simetris S/L=0.2, S/L=0.3 dan S/L=0.4 sebagai berikut:

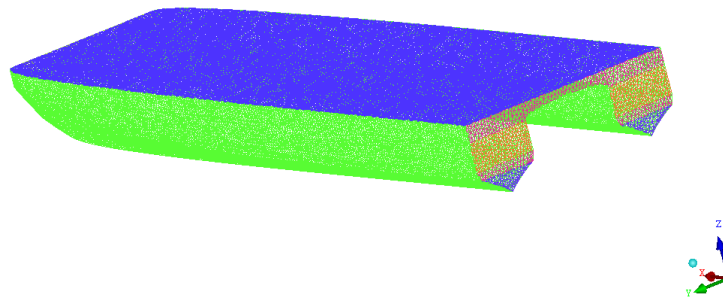
Measurement	Value	Units	Measurement	Value	Units	Measurement	Value	Units
1 Displacement	2,613	t	1 Displacement	2,693	t	1 Displacement	2,716	t
2 Volume (displaced)	2,549	m <sup>3</sup>	2 Volume (displaced)	2,628	m <sup>3</sup>	2 Volume (displaced)	2,650	m <sup>3</sup>
3 Draft Amidships	0,360	m	3 Draft Amidships	0,360	m	3 Draft Amidships	0,360	m
4 Immersed depth	0,360	m	4 Immersed depth	0,360	m	4 Immersed depth	0,360	m
5 WL Length	7,884	m	5 WL Length	7,884	m	5 WL Length	7,884	m
6 Beam max extents o	2,992	m	6 Beam max extents o	3,818	m	6 Beam max extents o	4,647	m
7 Wetted Area	17,607	m <sup>2</sup>	7 Wetted Area	18,071	m <sup>2</sup>	7 Wetted Area	17,951	m <sup>2</sup>
8 Max sect. area	0,416	m <sup>2</sup>	8 Max sect. area	0,409	m <sup>2</sup>	8 Max sect. area	0,433	m <sup>2</sup>
9 Waterpl. Area	9,046	m <sup>2</sup>	9 Waterpl. Area	9,787	m <sup>2</sup>	9 Waterpl. Area	9,403	m <sup>2</sup>
10 Prismatic coeff. (Cp)	0,776		10 Prismatic coeff. (Cp)	0,814		10 Prismatic coeff. (Cp)	0,776	
11 Block coeff. (Cb)	0,645		11 Block coeff. (Cb)	0,653		11 Block coeff. (Cb)	0,645	
12 Max Sect. area coeff	0,831		12 Max Sect. area coeff	0,802		12 Max Sect. area coeff	0,831	
13 Waterpl. area coeff.	0,824		13 Waterpl. area coeff.	0,875		13 Waterpl. area coeff.	0,824	
14 LCB length	3,208	from z	14 LCB length	-4,549	from z	14 LCB length	3,208	from z
15 LCF length	3,391	from z	15 LCF length	-4,332	from z	15 LCF length	3,391	from z
16 LCB %	40,689	from z	16 LCB %	-57,696	from z	16 LCB %	40,689	from z
17 LCF %	43,007	from z	17 LCF %	-54,946	from z	17 LCF %	43,007	from z
18 KB	0,211	m	18 KB	0,216	m	18 KB	0,211	m
19 KG fluid	0,000	m	19 KG fluid	0,000	m	19 KG fluid	0,000	m
20 BMT	4,494	m	20 BMT	8,799	m	20 BMT	13,238	m
21 BML	15,143	m	21 BML	16,836	m	21 BML	15,143	m
22 GML corrected	4,705	m	22 GML corrected	9,015	m	22 GML corrected	13,449	m
23 GML	15,354	m	23 GML	17,052	m	23 GML	15,354	m
24 KML	4,705	m	24 KML	9,015	m	24 KML	13,449	m
25 KML	15,354	m	25 KML	17,052	m	25 KML	15,354	m
26 Immersion (TPc)	0,093	tonne/c	26 Immersion (TPc)	0,100	tonne/c	26 Immersion (TPc)	0,096	tonne/c
27 MTC	0,051	tonne.	27 MTC	0,058	tonne.	27 MTC	0,053	tonne.
28 RM at 1deg = GML/DI	0,215	tonne.	28 RM at 1deg = GML/DI	0,424	tonne.	28 RM at 1deg = GML/DI	0,638	tonne.

**Gambar IV. 9 Data Hidrostatik kapal katamaran Asimetris S/L=0.2, S/L= 0.3 dan S/L=0.4 berdasarkan Maxsurf Modeller Advanced**

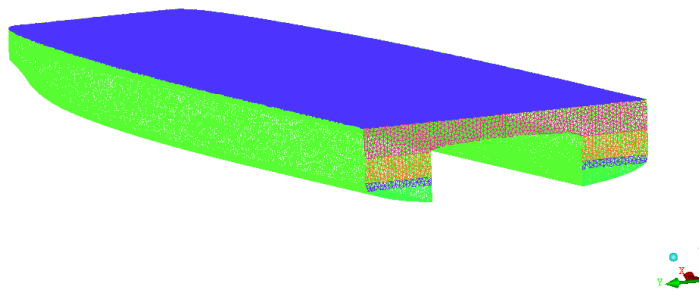
### IV.1.3. Proses Meshing

Setelah pembuatan model kapal katamaran Simetris dan katamaran Asimetris *Flat side inside* telah selesai, maka proses selanjutnya adalah proses *meshing* menggunakan *software* ICEM CFD. Meshing adalah tahapan dimana model dijadikan dalam bentuk elemen-elemen yang saling terhubung. Pemecahan model yang sudah dibuat mengikuti pada prinsip teori elemen hingga, dimana setiap sudut dari model dapat dibentuk menjadi suatu elemen.

Proses pemodelan yang sudah dilakukan pada *software* Maxsurf Modeller Advanced memiliki format .msd, sehingga perlu dilakukan *export* dari Maxsurf Modeller Advanced agar dapat dibaca pada *software* ANSYS. Pemodelan dari *software* Maxsurf Modeller Advanced di-*export* ke dalam bentuk format .igs, selanjutnya pada ICEM-CFD file-file tersebut di-*import* untuk kemudian dilakukan pembuatan dinding-dinding uji dan proses *meshing*.



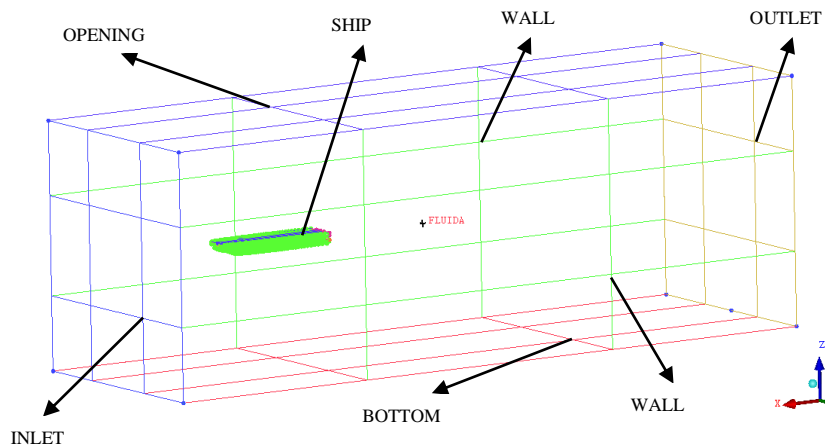
**Gambar IV. 11 Import model kapal katamaran Asimetris *flat side inside* dari maxsurf ke ICEM**



**Gambar IV. 10 Import model kapal katamaran Simetris dari maxsurf ke ICEM**

Setelah *convert* model selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya dalam pemberian kondisi batas pada model atau yang sering disebut dengan *boundary condition*. *Boundary condition* merupakan batas-batas yang nantinya akan menjadi parameter dalam melakukan simulasi.

Sebelum dilakukan proses *meshing*, perlu dilakukan pengaturan proses *meshing* sehingga hasil *meshing* yang dihasilkan dapat sesuai. Berikut merupakan pengaturan *meshing* untuk simulasi *free surface*.



**Gambar IV. 14 Dinding uji dan Fluida pada simulasi *Free Surface***

Part	Prism	Hexa-core	Maximum size	Height	Height ratio	Num layers	Tetra size ratio	Tetra width	Min size limit	Max deviation	Internal wall	Split wall	Parameter
BOTTOM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
DECKBOW	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.05	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
DECKTOP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.05	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FLUIDA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.001								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GEOM													
INLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ON_PLANE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.05	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
OPENING	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
OUTLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
PLANE_1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.05	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
PLANE_2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.05	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
PLANE_3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.05	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TRIMSURF	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.05	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
WALL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

☒ Show size params using scale factor  
☐ Apply inflation parameters to curves  
☐ Remove inflation parameters from curves  
 Highlighted parts have at least one blank field because not all entities in that part have identical parameters  
 Existing workbench input parameters using a lightblue background

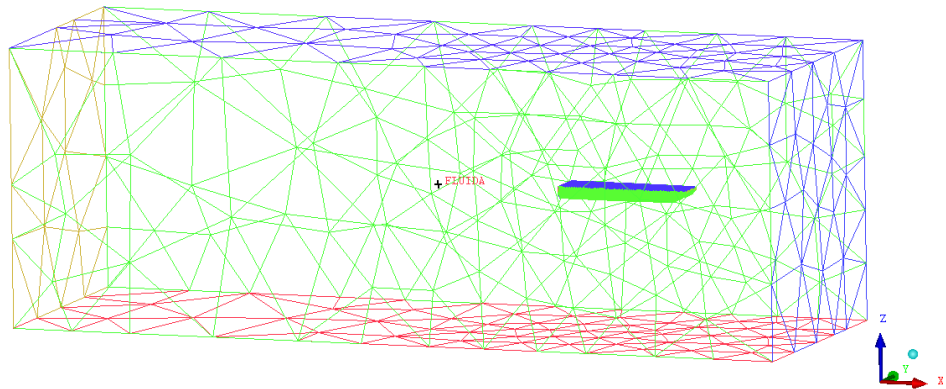
Apply Dismiss

**Gambar IV. 13 Pengaturan *meshing* untuk kapal katamaran Asimetris *flat side inside***

Part	Prism	Hexa-core	Maximum size	Height	Height ratio	Num layers	Tetra size ratio	Tetra width	Min size limit	Max deviation	Internal wall	Split wall	Parameter
BOTTOM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
DECKBOW	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.06	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
DECKTOP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.06	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FLUIDA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.001								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GEOM													
INLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ON_PLANE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.06	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
OPENING	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
OUTLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
PLANE_1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.06	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
PLANE_2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.06	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TRIMSURF	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.06	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
WALL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

☒ Show size params using scale factor  
☐ Apply inflation parameters to curves  
☐ Remove inflation parameters from curves  
 Highlighted parts have at least one blank field because not all entities in that part have identical parameters  
 Existing workbench input parameters using a lightblue background

**Gambar IV. 12 Pengaturan *meshing* untuk kapal katamaran Simetris**



**Gambar IV. 15 Hasil *meshing* pada simulasi *Free Surface***

## **IV.2. Simulasi CFD**

### **IV.2.1. aaTahap CFX-Pre Processor**

Pada tahap *pre-processor* perlu melakukan mendefinisikan domain dan *boundary* dari *part-part* yang telah dibuat di ICEM-CFD. Namun pada simulasi *free surface*, model uji berada pada dua fluida, yaitu fluida air dan fluida udara. Sehingga perlu dilakukan setting ekspresi-ekspresi untuk dapat membagi domain menjadi dua fluida. Selain itu perlu dilakukan setting *mesh adaption* yang berguna untuk memperhalus *meshing* sehingga dapat membantu perkembangan *interface* yang tajam antara air dan udara. Berikut merupakan setting simulasi *free surface* pada CFX-Pre:

- a) Pendefinisian CEL (*CFX Expression Language*) dimana CEL ekspresi-ekspresi bahasa pemrograman terhadap *boundary conditions* dituliskan. Ekspresi-ekspresi untuk *boundary* dan *initial conditions* yang didefinisikan pada CEL dapat dilihat pada Tabel 4. 3 berikut ini:

**Tabel IV. 4 Pendefinisian CEL (*CFX Expression Language*)**

<b>Nama bagian</b>	<b>CEL</b>	<b>Definisi</b>
Tinggi hulu <i>free surface</i>	UpH	8.36 [m]
Tinggi hilir <i>free surface</i>	DownH	8.36 [m]
Densitas air	DenWater	1025 [kg m <sup>-3</sup> ]
Densitas udara	DenRef	1.185 [kg m <sup>-3</sup> ]

**Tabel IV. 2 Pendefinisian CEL (CFX Expression Language) (Lanjutan)**

Densitas air-Densitas udara	DenH	(DenWater - DenRef)
Fraksi volume udara (hulu)	UpVFAir	step((y-UpH)/1[m])
Fraksi volume air (hulu)	UpVFWater	1-UpVFAir
Distribusi tekanan hulu	UpPres	DenH*g*UpVFWater* (UpH-y)
Fraksi volume udara (hilir)	DownVFAir	step((y-DownH)/1[m])
Fraksi volume air (hilir)	DownVFWater	1-DownVFAir
Distribusi tekanan hilir	DownPres	DenH*g*DownVFWater* (DownH-y)

b) Kondisi *Domain*

Langkah selanjutnya adalah pendefinisian *domain* fluida. Pada bagian ini jenis fluida dibagi dalam dua jenis yaitu fluida air dan fluida udara. Pada *tab Basic Setting* terdapat opsi *Gravity X Dim*, *Gravity Y Dim*, dan *Gravity Z Dim* yang diisi dengan angka 0 m/s; -g; dan 0 m/s secara berturut-turut. Untuk *Buoy. Ref. Density* diisi dengan “*DenRef*” sesuai dengan ekspresi-ekspresi CEL yang telah dijelaskan. Untuk opsi-opsi lainnya dibiarkan dengan *setting default*. Pada *tab Fluid Model*, kotak di sebelah pilihan “*Homogeneous Model*” dicentang dan pada opsi *Free Surface Model* di-*setting mode* “*Standard*”, sedangkan untuk model turbulensi di-*setting* “*Shear Stress Transport*”. Untuk opsi-opsi lainnya dibiarkan dengan *setting default*. Pada *tab Fluid Specific Model*, harus dipastikan bahwa fluida yang telah di-*setting* pada proses ini ada dua yaitu air dan udara. Seperti pada simulasi sebelumnya, model turbulensi fluida menggunakan *shear stress transport* pada kondisi isothermal lebih memberikan akurasi yang lebih baik.

c) Kondisi *Boundary*

Pada batas *inlet* dimasukkan kecepatan kapal dan pada batas *outlet* di-*setting* “*Normal Speed*”. Batas *wall* di-*setting symmetry* yang berarti bahwa tekanan kondisi dalam dan luar lingkungan pengujian sama, gelombang tidak dipantulkan terhadap dinding. Batas *top* didefinisikan sebagai *opening* atau dinding terbuka yang artinya tidak ada pengaruh tekanan dari manapun. Batas

*bottom*, didefinisikan *wall* dengan setting *free slip* yang artinya bebas slip. Model uji didefinisikan *wall* dengan setting *no slip wall* yang artinya permukaan model uji akan mengalami gesekan dengan fluida akibat terjadinya kontak langsung dari keduanya (tidak terjadi selip).

d) *Global initialization*

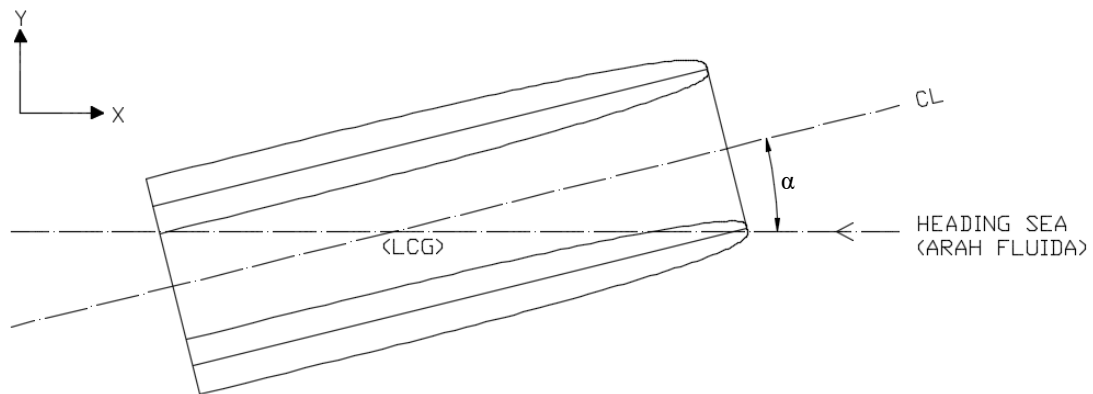
Agar konsisten dengan batas *inlet*, maka pada komponen kecepatan dimasukkan nilai kecepatan kapal sesuai dengan batas *inlet*. *Initialization* merupakan tahap pengaturan dimana kecepatan aliran fluida diatur, fraksi udara diatur dengan mengisi “*UpVFAir*” dan fraksi air diisi dengan “*UpVFWater*”.

e) *Mesh Adaption*

Untuk meningkatkan resolusi *interface* antara udara dan air maka dilakukan setting parameter-parameter pada fitur “*Mesh Adaption*”. Pada fitur ini juga ditetapkan berapa maksimum iterasi yang diinginkan ketika akan melakukan *running* model. Iterasi adalah parameter atau batas yang mengontrol ketika *software* melakukan *running* hingga didapat hasil yang konvergen. f) *Solver Control* Pada tahap ini melakukan *setting residual target* untuk tahap konvergensi dimana pada simulasi *free surface* di-setting *default* yaitu  $10^{-4}$ . Selain mengatur jumlah iterasi pada tahap ini agar domain pada simulasi ini dapat terbagi menjadi 2 fluida yaitu air dan udara, maka perlu melakukan *setting* pada *tab Advanced Options*, dan mencentang *multiphase control* dan *volume fraction coupling*. Kemudian pilih *option “coupled”*.

Pada tahap *pre-Processor* dilakukan pengaturan terhadap sudut kemiringan kapal. Pada Gambar IV.16 ditunjukkan adanya sudut yang dibentuk dari *heading sea* (arah fluida) dengan *centerline* kapal sehingga membentuk sudut  $\alpha$ . Sehingga nilai  $\alpha$  adalah nilai dari sudut kemiringan yang dilakukan pada proses simulasi CFD. Dimana sudut kemiringan ( $\alpha$ ) yang diatur adalah  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$  terhadap sumbu Z. Arah fluida pada simulasi ini berlawanan dengan arah gerakan kapal, sehingga arah fluida pada simulasi ini kearah sumbu x negatif. Arah fluida dan kemiringan kapal ditunjukkan dalam gambar berikut:



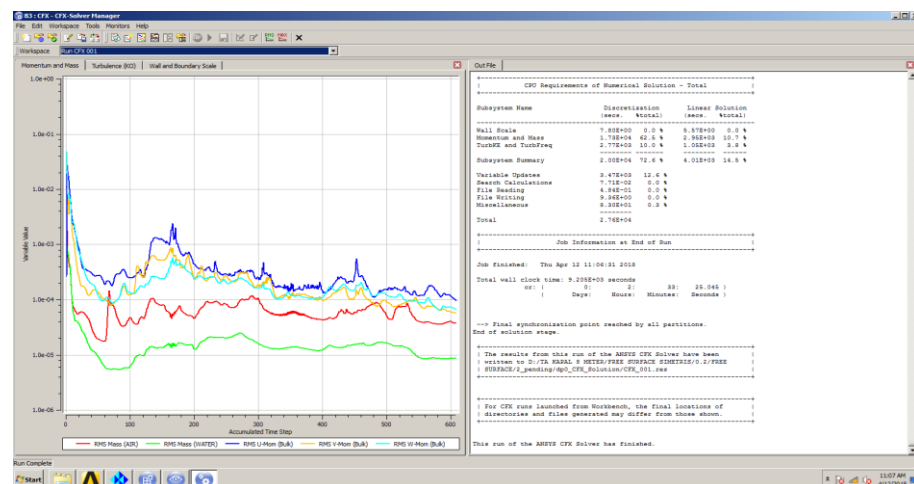


**Gambar IV. 16 Sudut Kemiringan Kapal Pada Simulasi CFD**

#### IV.2.2. Tahap *Solver*

Tahap *solver* adalah tahap dimana proses *running* dimulai setelah proses pendefinisian *domain* dan *boundary* pada semua *part* yang telah dibuat pada ICEM-CFD serta men-*setting solver control* pada CFX-Pre telah dilakukan. Pada proses *running* ini menampilkan grafik dimana sumbu x adalah *acumulated time step* (banyaknya jumlah (iterasi) dan sumbu y menunjukkan *variable value* (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai sesuai dengan *solver control* pada tahap *pre-processor*.

Konvergensi merupakan pengaturan persamaan solver control yang bertujuan meminimalisir error pada hasil simulasi. Proses iterasi pada tahap *solver* ini akan berhenti sampai dengan *variable value* (nilai konvergensi) telah sesuai dengan *residual target* pada tahap *pre-processor*. Pada tahap ini selain jumlah total elemen dari model uji, waktu iterasi dipengaruhi juga oleh spesifikasi komputer yang digunakan. Proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Berikut merupakan hasil pada tahap *solver* untuk simulasi *free surface*.



**Gambar IV. 17 Proses Running Pada simulasi *Free Surface***

#### IV.2.3. Tahap *Post-Processor*

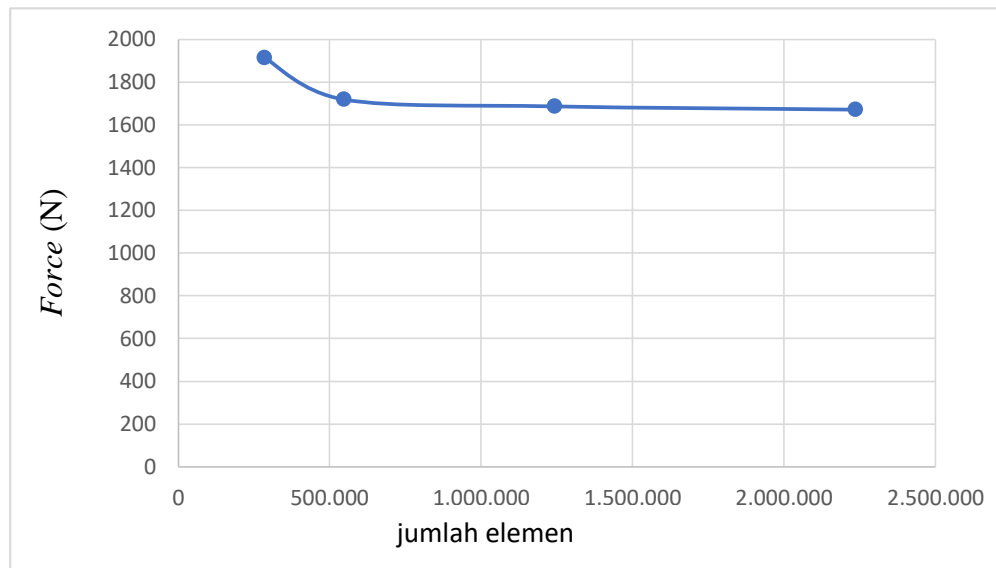
Tahap *post-processor* adalah tahap terakhir pada simulasi CFD. Pada tahap ini mendapatkan hasil-hasil dari proses iterasi yang telah dilakukan. Hasil dari tahap ini dapat berupa nilai, gambar, dan animasi.

#### IV.3. Validasi *Grid Independence*

Selain membandingkan dengan hasil eksperimental, metode yang dapat digunakan untuk membuktikan keakuratan hasil dari simulasi CFD ini adalah dengan metode *grid independence*. Maksud dari *Grid Independence* ini adalah hasil dari simulasi CFD yang ditampilkan tidak dipengaruhi oleh jumlah total elemen dari model uji. Jumlah total elemen dari model uji dapat mempengaruhi hasil dari simulasi CFD. Dengan jumlah total elemen yang lebih besar dapat menghasilkan hasil yang lebih mendekati nilai aslinya. Tetapi dengan jumlah elemen yang lebih besar tersebut memerlukan waktu iterasi yang lebih lama. Maka metode *grid independence* ini perlu dilakukan untuk dapat menghasilkan hasil yang paling optimal yang artinya selisih persentase hasil dari simulasi CFD tersebut terhadap jumlah total elemen kurang dari 2% sehingga waktu iterasi yang dihasilkan dapat relatif minimum. Selain dari jumlah total elemen, waktu iterasi juga dipengaruhi oleh spesifikasi komputer yang digunakan.

**Tabel IV. 5 Grid Independency Asimetris flat side inside Free Surface**

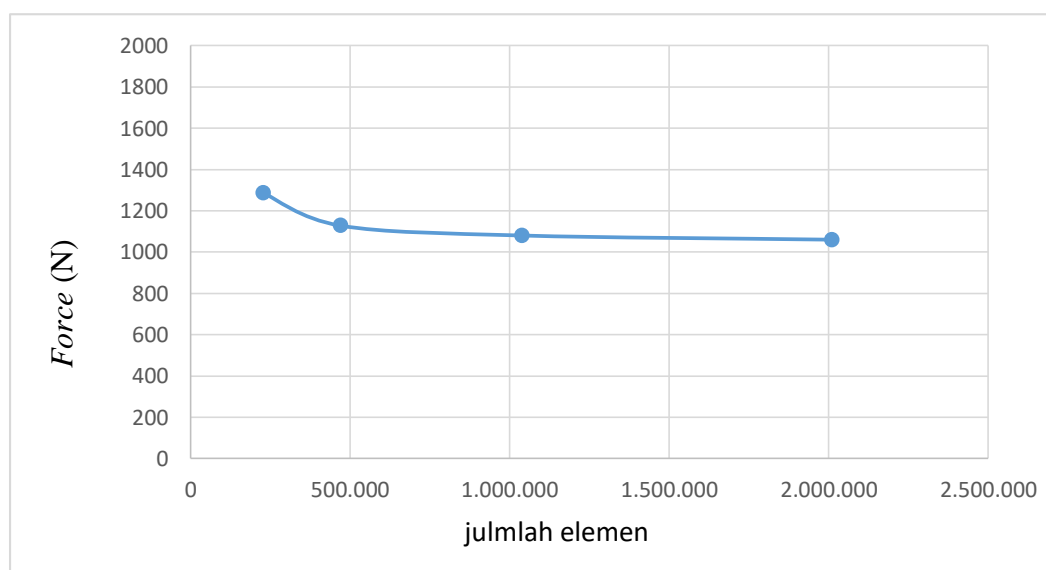
Jumlah Elemen	Force (N)	Prosentasi Selisih
285,402	1914.019	
548,118	1718.510	11.59%
1,242,742	1682.460	2.14%
2,236,616	1671.310	0.67%



**Gambar IV. 18** *Grid Independence Katamaran Asimetris Flat side inside pada simulasi Free Surface*

**Tabel IV. 6** *Grid Independence Simetris Free surface*

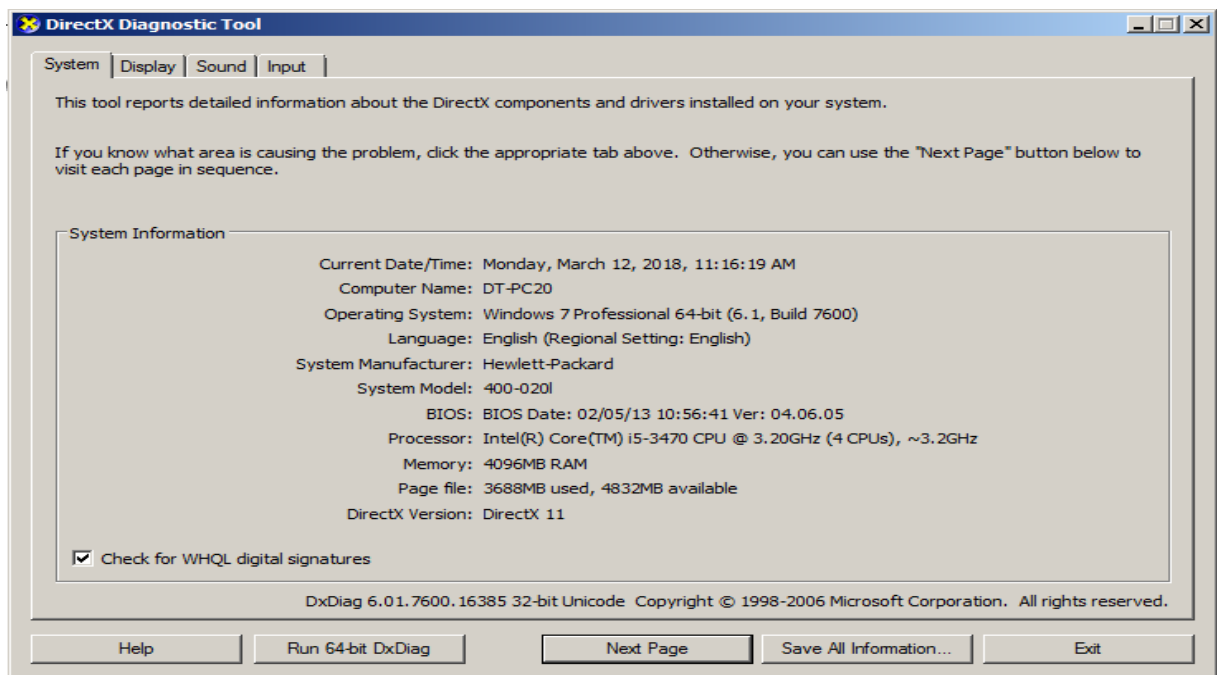
Jumlah Elemen	Force (N)	Prosentasi Selisih
227,854	1286.467	
470,241	1128.100	14.04%
1,039,150	1080.410	4.41%
2,009,530	1060.300	1.90%



**Gambar IV. 19** *Grid Independence Katamaran Simetris pada simulasi Free Surface*

Pada simulai *free surface* untuk kapal katamaran asimetris *flat side inside* dipresentasikan pada Gambar IV.16 dengan jumlah total elemen sebesar 1,242,742. Sedangkan untuk kapal katamaran simetris yang dipresentasikan pada Gambar IV.17 dipilih model 4 dengan jumlah total elemen sebesar 1,039,150.

Kapasitas computer yang digunakan sangat memengaruhi lama durasi dalam proses *running* yang terjadi pada setiap simulasi. Spesifikasi komputer yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut:



**Gambar IV. 20 Spesifikasi komputer dalam Proses *Running* CFD**

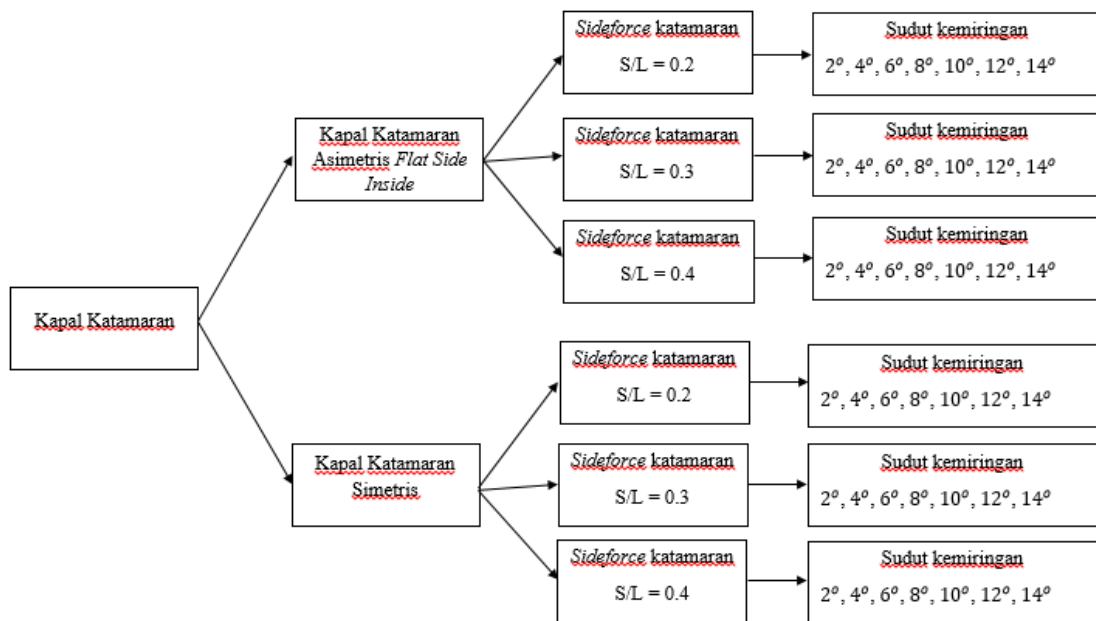
Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### V.1. Pendahuluan

Setelah melakukan proses simulasi CFD, maka didapatkan hasil berupa besarnya nilai *sideforce* untuk setiap variasi model yang dimana dari hasil yang sudah didapatkan akan dilakukan proses analisis. Pada akhir analisis ini akan diperoleh bagaimana pengaruh *sideforce* dengan adanya variasi dari setiap model.



**Gambar V. 1 Bagan Hasil Simulasi Model**

## V.2. Simulasi *Free Surface*

### V.2.1. Kapal Katamaran Simetris

Simulasi *free surface* dilakukan dalam penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan simulasi kapal dengan menggunakan dua fluida, yaitu fluida air dan fluida udara. Dimana pada simulasi *free surface* diperoleh perbandingan nilai  $C_{SF}$  untuk variasi sudut kemiringan pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* dan kapal katamaran simetris. Untuk setiap variasi model, yaitu bentuk lambung kapal katamaran simetris dan asimetris *flat side inside*, jarak antar lambung secara melintang atau yang disebut S/L ( $S/L = 0.2$ ,  $S/L = 0.3$  dan  $S/L = 0.4$ ) serta sudut kemiringan ( $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$ ). Selain diperoleh nilai dari *sideforce coefficient* ( $C_{SF}$ ) juga di peroleh nilai  $C_T$ . Dimana nilai  $C_{SF}$  diperoleh berdasarkan besarnya nilai *force* pada sumbu y, atau sumbu yang sejajar dengan arah melintang kapal. Sedangkan nilai  $C_T$  diperoleh berdasarkan nilai besarnya *force* berdasarkan sumbu x, atau sumbu yang sejajar dengan arah memanjang kapal. Pada Tabel V.1 dan V.2 berikut menunjukkan hasil dari nilai *sideforce* dan nilai dragforce serta nilai  $C_T$  dan  $C_{SF}$ .

**Tabel V. 1 Nilai  $C_{SF}$  pada simulasi *free surface* kapal katamaran simetris**

SUDUT KEMIRINGAN	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	<i>SIDEFORCE</i> (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )	<i>SIDEFORCE</i> (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )	<i>SIDEFORCE</i> (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )
2	525.400	0.792	486.135	0.694	378.905	0.541
4	960.240	1.447	811.505	1.159	744.001	1.062
6	1341.150	2.021	1182.820	1.689	1045.020	1.492
8	1844.160	2.779	1654.490	2.362	1552.105	2.216
10	2651.770	3.995	2285.760	3.264	2088.390	2.982
12	3005.341	4.528	2798.300	3.996	2509.600	3.584
14	3488.240	5.256	3245.889	4.635	3045.580	4.349

Tabel V.1 menunjukkan nilai *sideforce* dari kapal katamaran simetris berdasarkan hasil dari simulasi *free surface*. Pada Tabel V.1 menunjukkan hasil nilai  $C_{SF}$  yang diperoleh dari nilai *sideforce* dan dimasukan ke dalam rumus (V.1). Dalam Tabel V.1 ditunjukkan bahwa nilai *sideforce* mengalami kenaikan berbanding lurus dengan kemiringan sudut, dimana semakin bertambahnya nilai kemiringan sudut maka nilai *sideforce* juga mengalami kenaikan. Sudut kemiringan  $2^\circ$  memiliki nilai *sideforce* yang terkecil dan pada sudut kemiringan  $14^\circ$

memiliki nilai *sideforce* yang terbesar. Semakin besar nilai S/L, maka nilai *sideforce* semakin mengalami penurunan.

Dalam simulasi *free surface* diperoleh nilai  $C_T$ . Nilai  $C_T$  ini diperoleh dari nilai total drag yang kemudian dimasukkan ke dalam rumus (V.1). Nilai total drag ini diperoleh berdasarkan besarnya *force* yang arahnya sama dengan arah datangnya fluida yang mengenai objek. Tabel V.4 berikut menyajikan nilai *dragforce* dan  $C_T$  berdasarkan variasi yang sudah dilakukan pada simulasi *free surface*.

**Tabel V. 2 Nilai  $C_T$  pada simulasi *free surface* pada kapal katamaran simetris**

SUDUT KEMIRINGAN	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	DRAGFORCE (N)	$C_T$ (x 10 <sup>-2</sup> )	DRAGFORCE (N)	$C_T$ (x 10 <sup>-2</sup> )	DRAGFORCE (N)	$C_T$ (x 10 <sup>-2</sup> )
2	1506.970	2.2706	1112.507	1.5886	1094.366	1.5627
4	1686.570	2.5412	1155.260	1.6496	1133.070	1.6179
6	1739.110	2.6204	1252.980	1.7892	1190.680	1.7002
8	1789.020	2.6956	1453.840	2.0760	1255.330	1.7925
10	1864.400	2.8091	1619.790	2.3129	1351.130	1.9293
12	1956.350	2.9477	1791.080	2.5575	1565.310	2.2351
14	2068.980	3.1174	2002.410	2.8593	1917.640	2.7383

Tabel V.2 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya sudut kemiringan juga semakin bertambah nilai *dragforce*. Sehingga nilai  $C_T$  juga bertambah. Untuk variasi S/L, semakin bertambah nilai S/L maka semakin berkurang nilai *dragforce*.

Pada Tabel V.1 dan Tabel V.2, menunjukkan hasil nilai *sideforce* dan juga perhitungan nilai *sideforce coefficient* dari setiap model kapal katamaran asimetris *flat side inside* dan kapal katamaran simetris dengan variasi kemiringan sudut. Nilai *sideforce* ini menunjukkan besarnya *force* di badan kapal dengan variasi sudut kemiringan. Kemudian nilai *sideforce* dapat diubah menjadi *sideforce coefficient* sesuai dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{sideforce coefficient (CI)} = \frac{\text{sideforce}}{\frac{1}{2} \mu WSA U^2} \quad (\text{V.1})$$

Dimana:

*sideforce* = nilai *sideforce*

$\mu$  = massa jenis air laut 1025 kg/m<sup>3</sup>

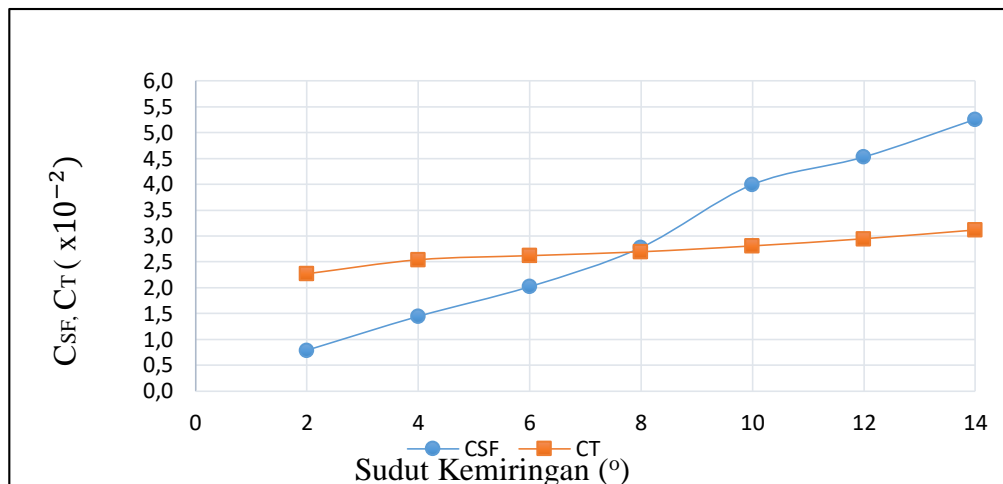


WSA = luas permukaan basah pada kapal (*wetted surface area*)

U = *velocity*

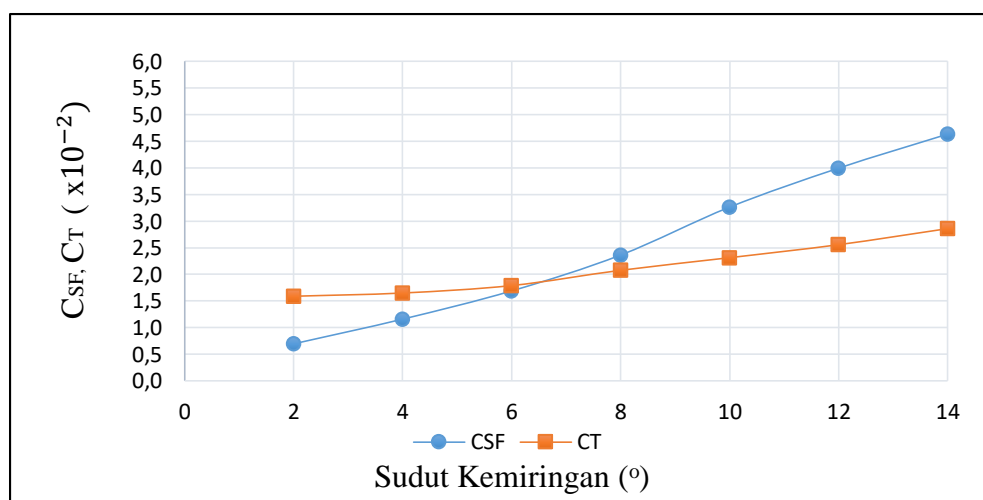
(Couser dkk,1998).

Untuk melihat perbandingan dari  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada kapal katamaran simetris untuk masing-masing nilai S/L adalah sebagai berikut.



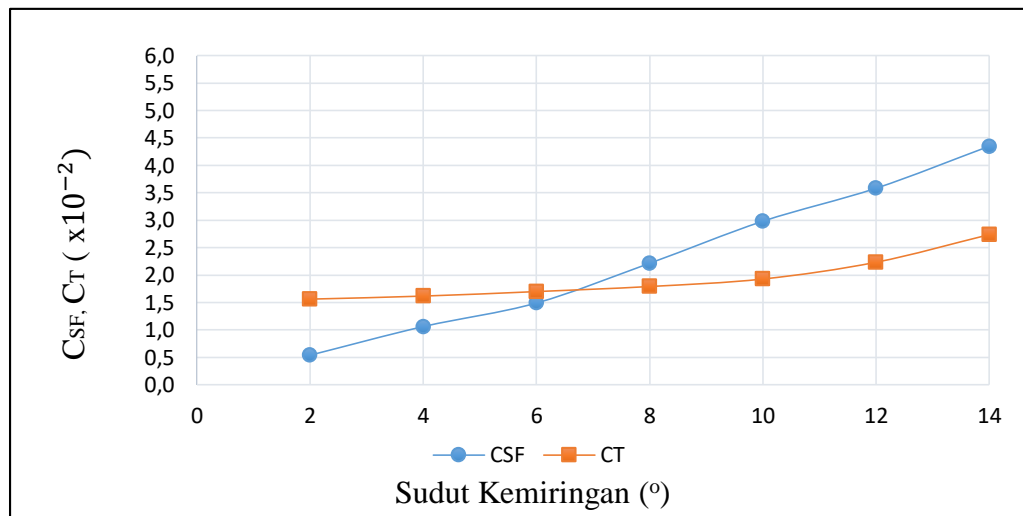
**Gambar V. 2 Perbandingan nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$  S/L= 0.2 kapal katamaran simetris**

Pada Gambar V.2 ditunjukkan mengenai perbandingan dari  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada kapal katamaran simetris S/L = 0.2. Pada sudut kemiringan  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$  nilai  $C_{SF}$  lebih kecil daripada nilai  $C_T$ . Namun pada sudut kemiringan  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$   $C_{SF}$  memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $C_T$ . Perpotongan antara  $C_{SF}$  dan  $C_T$  yang terjadi pada kapal katamaran simetris S/L = 0.2 terjadi mendekati sudut kemiringan kapal 8 derajat, hal tersebut terjadi karena selisih nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada sudut kemiringan kapal  $8^\circ$  sangat kecil nilainya yaitu sebesar 3.08% sedangkan selisih nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada sudut kemiringan  $6^\circ$  sebesar 29.67%.



**Gambar V. 3 Perbandingan nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$  S/L= 0.3 kapal katamaran simetris**

Pada Gambar V.3 ditunjukkan mengenai perbandingan dari  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada kapal katamaran simetris  $S/L = 0.3$ . Pada sudut kemiringan  $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$  nilai  $C_{SF}$  lebih kecil daripada nilai  $C_T$ . Namun pada sudut kemiringan  $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$   $C_{SF}$  memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $C_T$ . Namun berbeda dengan  $S/L = 0.2$ , pada  $S/L = 0.3$  nilai selisih  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada sudut kemiringan  $6^\circ$  lebih besar dari nilai selisih pada sudut  $8^\circ$ , yaitu pada sudut  $6^\circ$  sebesar 5.93% dan pada sudut  $8^\circ$  sebesar 16.96%, sehingga pada Gambar V.11 ditunjukkan titik pertemuan antara  $C_{SF}$  dan  $C_T$  mendekati  $6^\circ$ .

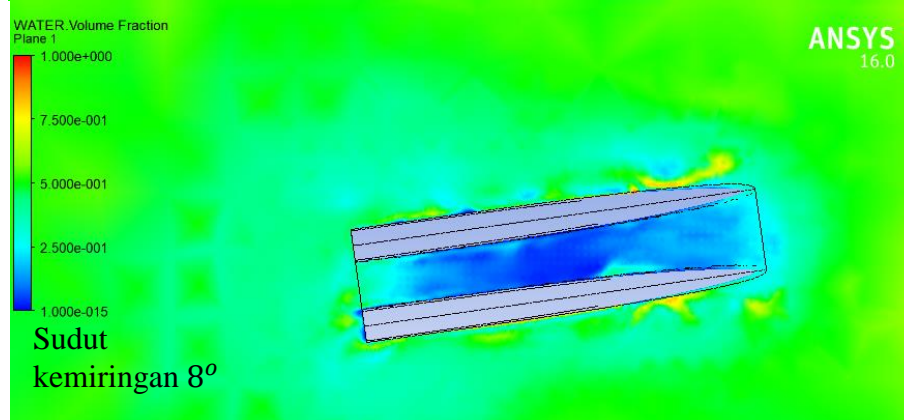
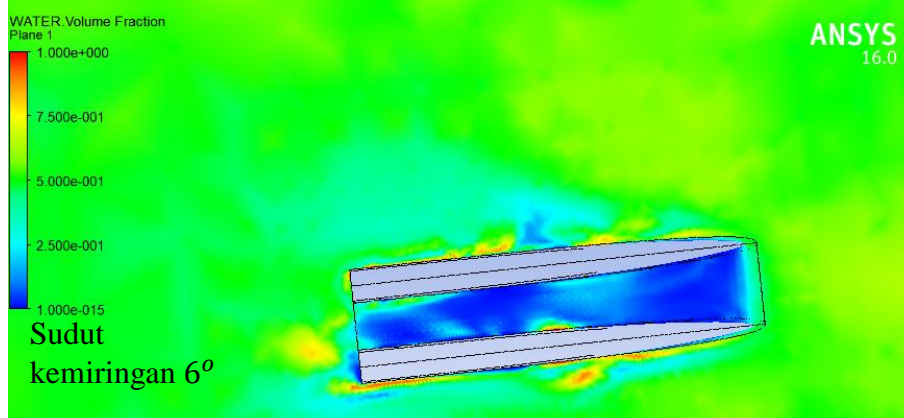
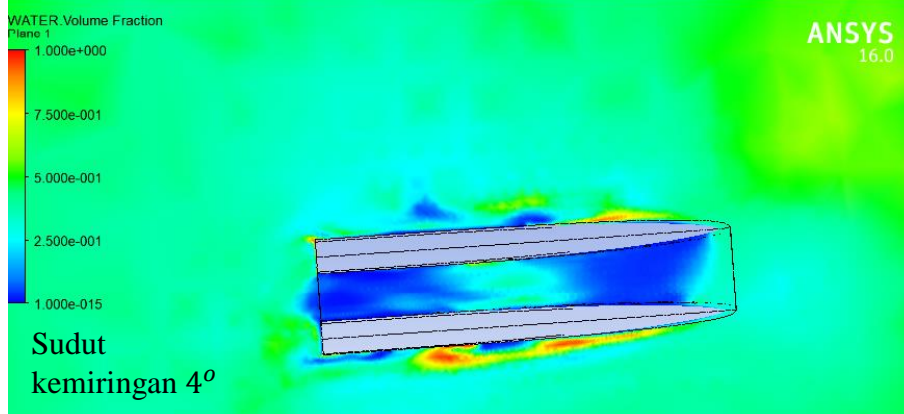
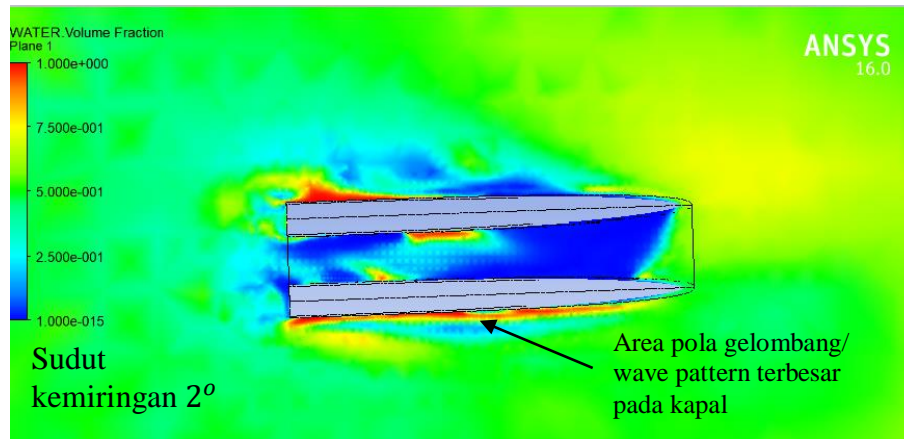


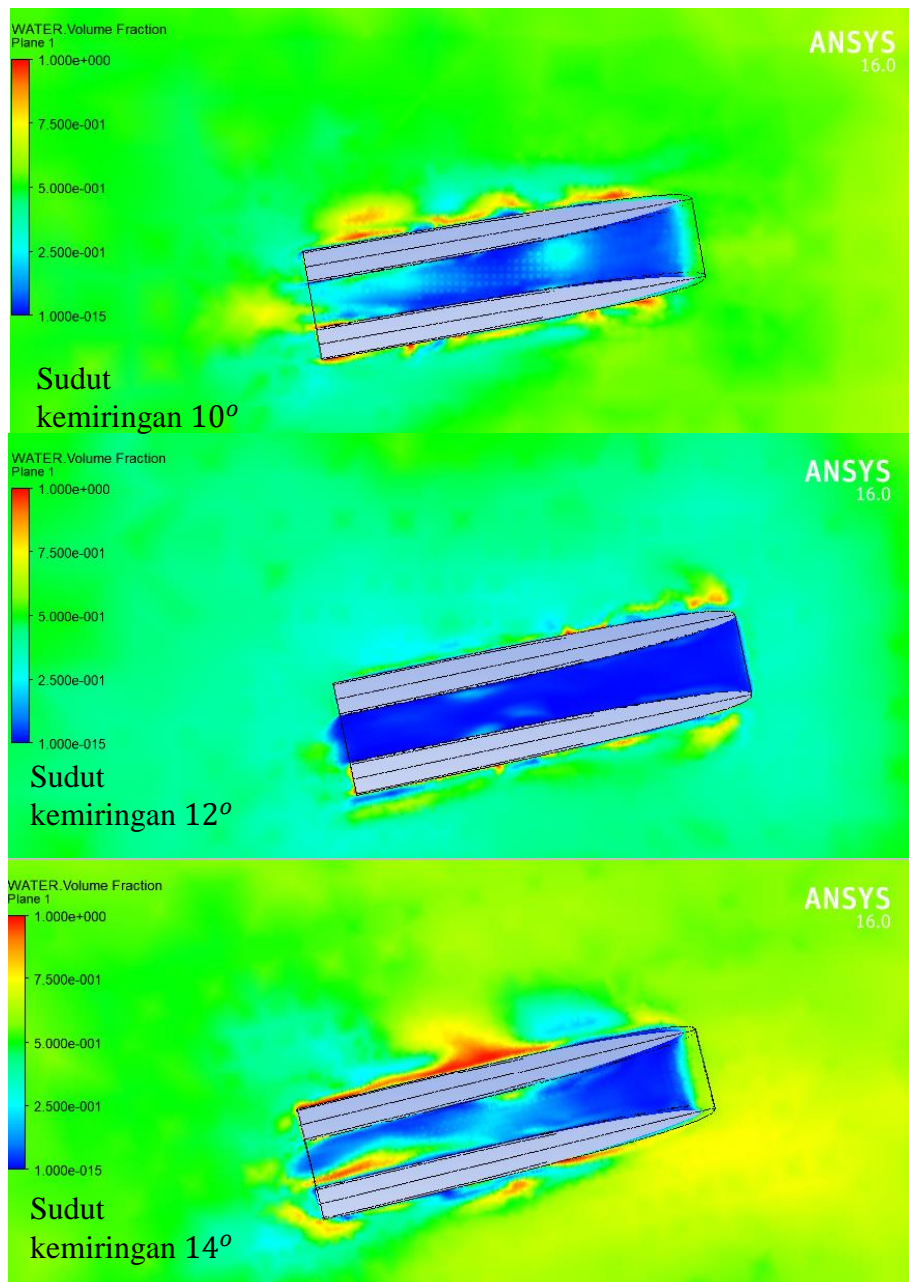
**Gambar V. 4 Perbandingan nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$   $S/L= 0.4$  kapal katamaran simetris**

Pada Gambar V.4 ditunjukkan mengenai perbandingan dari  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada kapal katamaran simetris  $S/L = 0.3$ . Pada sudut kemiringan  $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$  nilai  $C_{SF}$  lebih kecil daripada nilai  $C_T$ . Namun pada sudut kemiringan  $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$   $C_{SF}$  memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $C_T$ . Pada kapal katamaran simetris  $S/L = 0.4$  titik pertemuan antara  $C_{SF}$  dan  $C_T$  mendekati  $6^\circ$ , karena nilai selisih  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada sudut kemiringan  $6^\circ$  lebih besar dari nilai selisih pada sudut  $8^\circ$ , pada sudut kemiringan  $6^\circ$  sebesar 13.94% dan pada sudut kemiringan sebesar  $8^\circ$  23,64%.

Pada Gambar V.2, Gambar V.3 dan Gambar V.4 ditunjukkan bahwa nilai  $C_{SF}$  dan Nilai  $C_T$  pada kapal katamaran simetris semakin bertambah berbanding lurus dengan semakin bertambahnya sudut kemiringan dari kapal. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada sudut kemiringan di atas  $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$  nilai  $F(x)$  atau *force* pada sumbu x lebih kecil dibandingkan nilai  $F(y)$  atau *force* pada sumbu y. Hal tersebut terjadi pada variasi  $S/L = 0.2$ ,  $S/L = 0.3$ , dan  $S/L = 0.4$ .

Hasil simulasi CFD untuk nilai *sideforce* ditunjukkan pada salah satu variasi  $S/L$  ditunjukkan pada gambar berikut:





**Gambar V. 5 Gambar pola gelombang tampak atas pada salah satu model pada setiap variasi sudut kemiringan**

### V.2.2. Kapal Katamaran Asimetris (*Flat side inside*).

Dengan adanya variasi konfigurasi lambung pada kapal katamaran, maka dari itu simulasi *free surface* dilakukan juga pada kapal katamaran dengan variasi konfigurasi lambung asimetris *flat side inside*. Pada simulasi *free surface* diperoleh perbandingan nilai  $C_{SF}$  untuk variasi sudut kemiringan pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* dan kapal katamaran simetris. Untuk setiap variasi model, yaitu bentuk lambung kapal katamaran simetris dan asimetris *flat side inside*, jarak antar lambung secara melintang atau yang disebut  $S/L$  ( $S/L = 0.2$ ,  $S/L = 0.3$  dan  $S/L = 0.4$ ) serta sudut kemiringan ( $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$ ). Sama halnya pada katmaran simetris, selain nilai *sideforce coefficient* ( $C_{SF}$ ) juga akan diperoleh hasil nilai  $C_T$ . Berikut data hasil  $C_{SF}$  simulasi *free surface* pada kapal katamaran asimetris *flat side inside*.

**Tabel V. 3 Nilai  $C_{SF}$  pada simulasi *free surface* kapal katamaran asimetris *flat side inside***

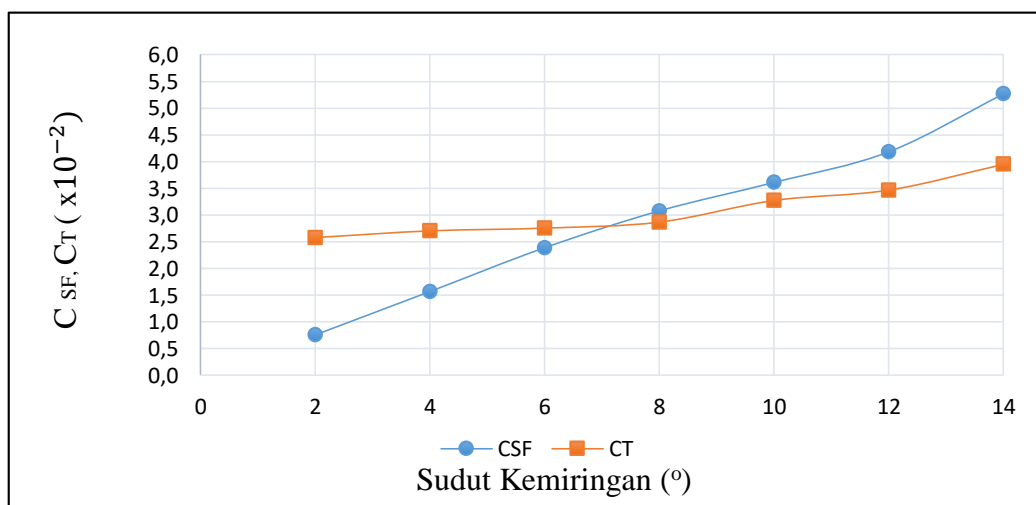
SUDUT KEMIRINGAN	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	<i>SIDEFORCE</i> (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )	<i>SIDEFORCE</i> (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )	<i>SIDEFORCE</i> (N)	$C_{SF}$ ( $\times 10^{-2}$ )
2	503.616	0.759	486.889	0.695	470.160	0.671
4	1042.050	1.570	844.884	1.206	717.637	1.025
6	1585.653	2.389	1412.620	2.017	1261.250	1.801
8	2043.151	3.078	1956.390	2.794	1749.043	2.498
10	2396.212	3.610	2264.976	3.234	2143.571	3.061
12	2776.190	4.183	2721.325	3.886	2573.500	3.675
14	3495.102	5.266	3256.709	4.650	3085.199	4.405

Tabel V.3 menunjukkan nilai *sideforce* dari kapal katamaran simetris berdasarkan hasil dari simulasi *free surface*. Tabel V.3 menunjukkan hasil nilai  $C_{SF}$  yang diperoleh dari nilai *sideforce* dan dimasukkan ke dalam rumus (V.1). Sama halnya dengan yang terjadi pada kapal katamaran simetris, bahwa nilai *sideforce* terkecil saat kapal mengalami sudut kemiringan terkecil dan nilai *sideforce* terbesar pada saat kapal berada dalam kondisi sudut kemiringan terbesar. Dalam simulasi *free surface* juga diperoleh nilai  $C_T$ . Nilai  $C_T$  ini diperoleh dari nilai total drag yang kemudian dimasukkan ke dalam rumus (V.1). Berikut data hasil nilai  $C_T$  simulasi *free surface* pada kapal katamaran asimetris *flat side inside*.

**Tabel V. 4 Nilai  $C_T$  pada simulasi *free surface* pada kapal katamaran asimetris *flat side inside***

SUDUT KEMIRINGAN	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	DRAGFORCE (N)	$C_T$ ( $\times 10^{-2}$ )	DRAGFORCE (N)	$C_T$ ( $\times 10^{-2}$ )	DRAGFORCE (N)	$C_T$ ( $\times 10^{-2}$ )
2	1711.870	2.579	1637.854	2.339	1422.100	2.031
4	1794.753	2.704	1700.334	2.428	1481.730	2.116
6	1828.926	2.756	1774.063	2.533	1588.719	2.269
8	1903.100	2.867	1875.800	2.679	1704.400	2.434
10	2172.420	3.273	2085.900	2.979	1982.660	2.831
12	2300.790	3.467	2265.819	3.235	2114.600	3.019
14	2620.440	3.948	2408.700	3.439	2129.762	3.041

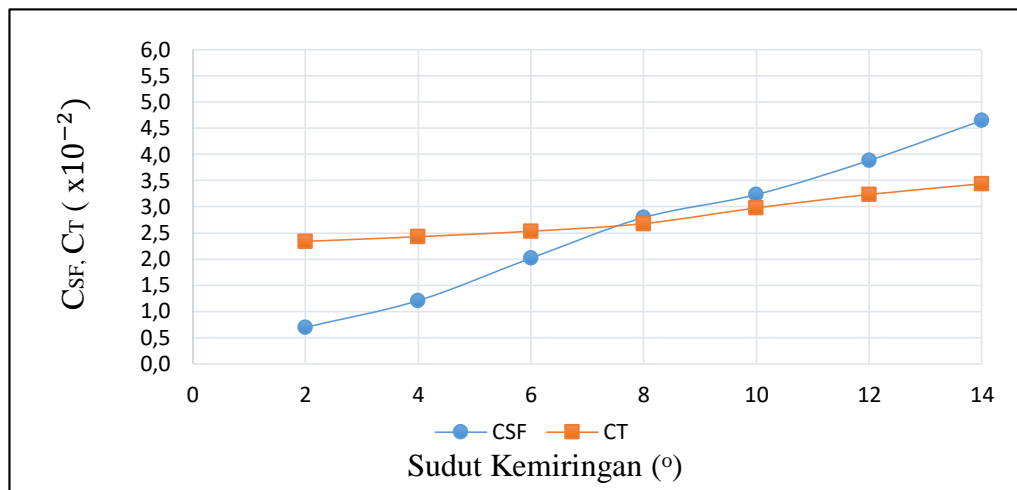
Pada grafik berikut dapat dilihat perbandingan dari  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* untuk masing-masing nilai S/L.



**Gambar V. 6 Perbandingan nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$  S/L= 0.2 kapal katamaran Asimetris *Flat side inside***

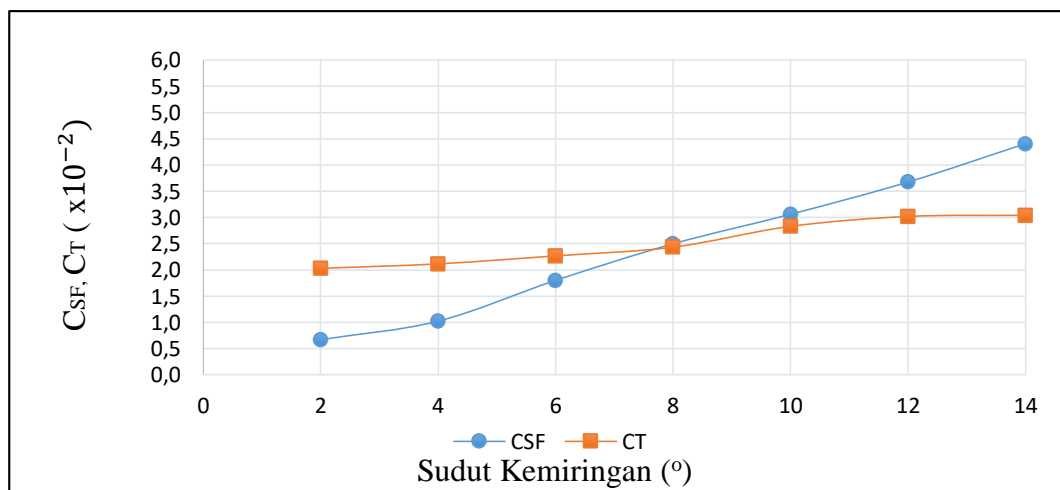
Pada Gambar V.6 ditunjukkan mengenai perbandingan dari  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada kapal katamaran asimetris S/L = 0.2. Pada sudut kemiringan  $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$  nilai  $C_{SF}$  lebih kecil daripada nilai  $C_T$ . Namun pada sudut kemiringan  $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$   $C_{SF}$  memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $C_T$ . Pada kapal katamaran asimetris S/L = 0.2 titik pertemuan antara  $C_{SF}$  dan  $C_T$  sudut kemiringan  $8^\circ$  karena nilai nilai selesih  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada sudut kemiringan  $6^\circ$  nilainya lebih besar dari nilai selesih  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada sudut kemiringan sebesar  $8^\circ$ . Pada sudut kemiringan  $6^\circ$  sebesar 15.34% dan pada sudut kemiringan  $8^\circ$  sebesar 7.36%.





**Gambar V. 7 Perbandingan nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$   $S/L=0.3$  kapal katamaran Asimetris Flat side inside**

Pada Gambar V.7 ditunjukkan mengenai perbandingan dari  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada kapal katamaran asimetris  $S/L = 0.3$ . Pada sudut kemiringan  $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$  nilai  $C_{SF}$  lebih kecil daripada nilai  $C_T$ . Namun pada sudut kemiringan  $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$   $C_{SF}$  memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $C_T$ . Perpotongan antara  $C_{SF}$  dan  $C_T$  yang terjadi pada kapal katamaran asimetris  $S/L = 0.3$  terjadi mendekati sudut kemiringan kapal  $8^\circ$ , hal tersebut terjadi karena selisih nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada sudut kemiringan kapal  $8^\circ$  sangat kecil nilainya yaitu sebesar 4.30% sedangkan selisih nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada sudut kemiringan  $6^\circ$  sebesar 25.59%.



**Gambar V. 8 Perbandingan nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$   $S/L=0.4$  kapal katamaran Asimetris Flat side inside**

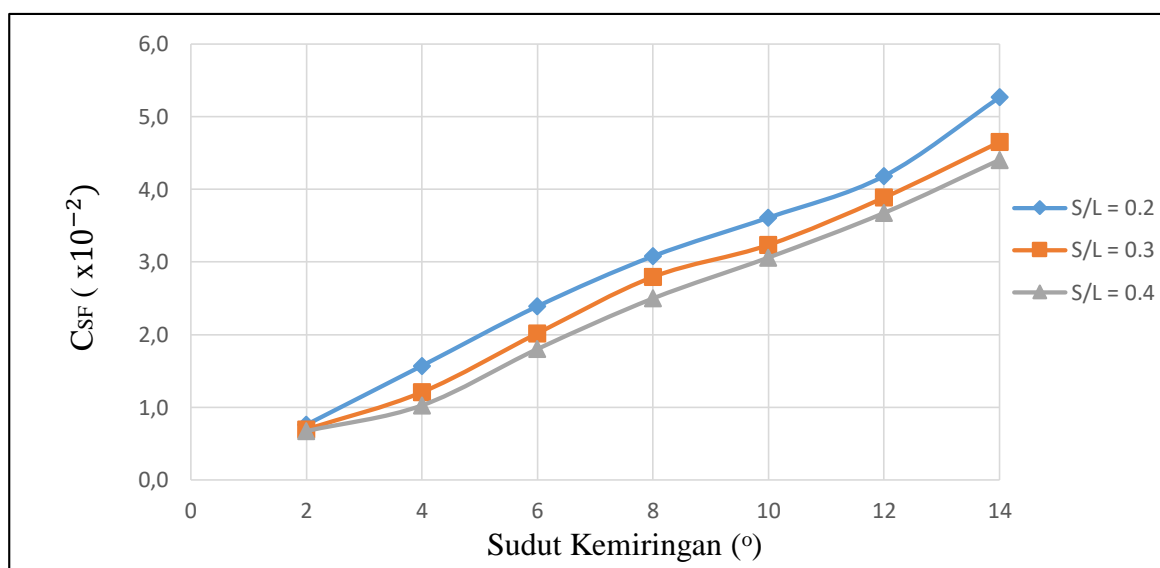
Pada Gambar V.8 ditunjukkan mengenai perbandingan dari  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada kapal katamaran asimetris  $S/L = 0.4$ . Pada sudut kemiringan  $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$  nilai  $C_{SF}$  lebih kecil

daripada nilai  $C_T$ . Namun pada sudut kemiringan  $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$   $C_{SF}$  memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $C_T$ . Perpotongan antara  $C_{SF}$  dan  $C_T$  yang terjadi pada kapal katamaran asimetris  $S/L = 0.3$  terjadi mendekati sudut kemiringan kapal  $8^\circ$ , hal tersebut terjadi karena selisih nilai  $C_{SF}$  dan  $C_T$  pada sudut kemiringan kapal  $8^\circ$  lebih kecil nilainya dari sudut kemiringan  $6^\circ$ , yaitu sebesar 2.62% pada sudut kemiringan kapal  $8^\circ$  sedangkan pada sudut kemiringan  $6^\circ$  sebesar 25.96%.

Pada Gambar V.6, Gambar V.7 dan Gambar V.8 ditunjukkan bahwa nilai  $C_{SF}$  dan Nilai  $C_T$  pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* semakin bertambah berbanding lurus dengan semakin bertambahnya sudut kemiringan dari kapal. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada sudut kemiringan di atas  $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$  nilai  $F(x)$  atau *force* pada sumbu x lebih kecil dibandingkan nilai  $F(y)$  atau *force* pada sumbu y. Hal tersebut terjadi pada variasi  $S/L = 0.2, S/L = 0.3$ , dan  $S/L = 0.4$ .

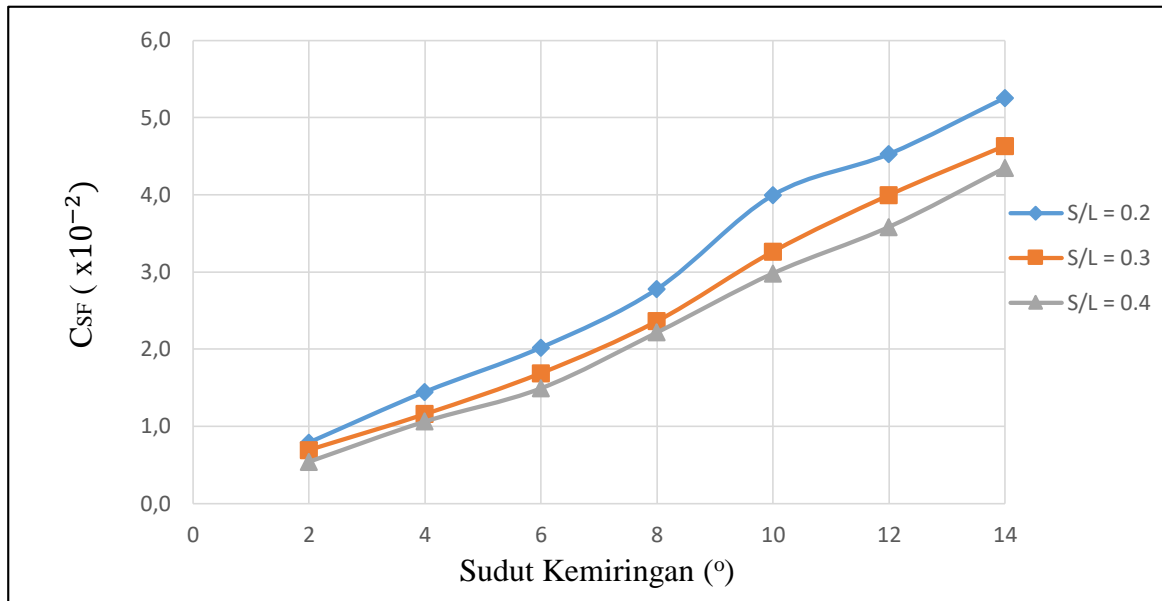
### V.2.3. Perbandingan simulasi *free surface* katamaran asimetris *flat side inside* dan katamaran simetris

Simulasi *free surface* yang sudah dilakukan pada kedua konfigurasi lambung, yaitu katamaran asimetris *flat side inside* dan katamaran simetris, maka diperoleh data perbandingan nilai *sideforce coefficient* dari kedua perbedaan konfigurasi lambung tersebut. Dari nilai yang diperoleh tersebut di sajikan dalam Gambar V.9 dan Gambar V.10. Dari Gambar V.9 dan Gambar V.10 ditunjukkan perbedaan berdasarkan konfigurasi lambung yang berbeda, namun dengan variasi  $S/L$  yang sama dan sudut kemiringan kapal yang sama.



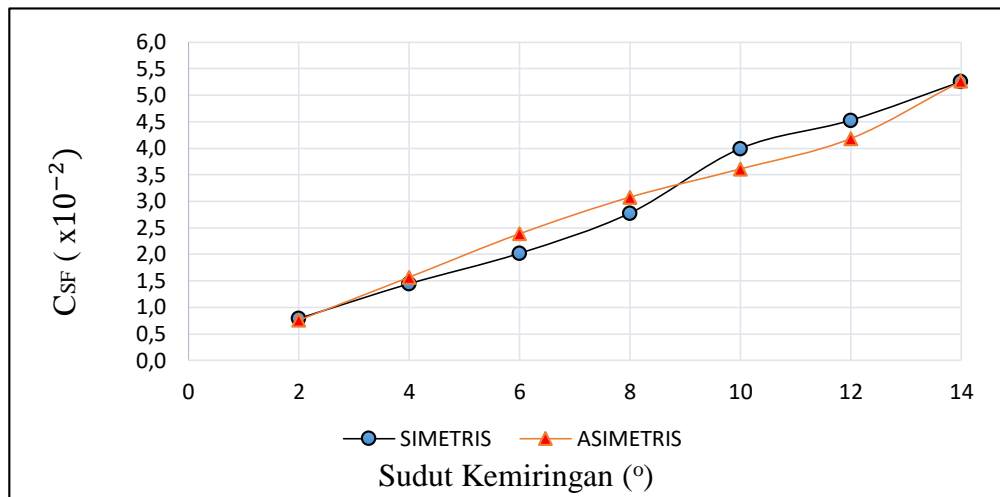
Gambar V. 9 Perbandingan  $C_{SF}$  kapal katamaran simetris





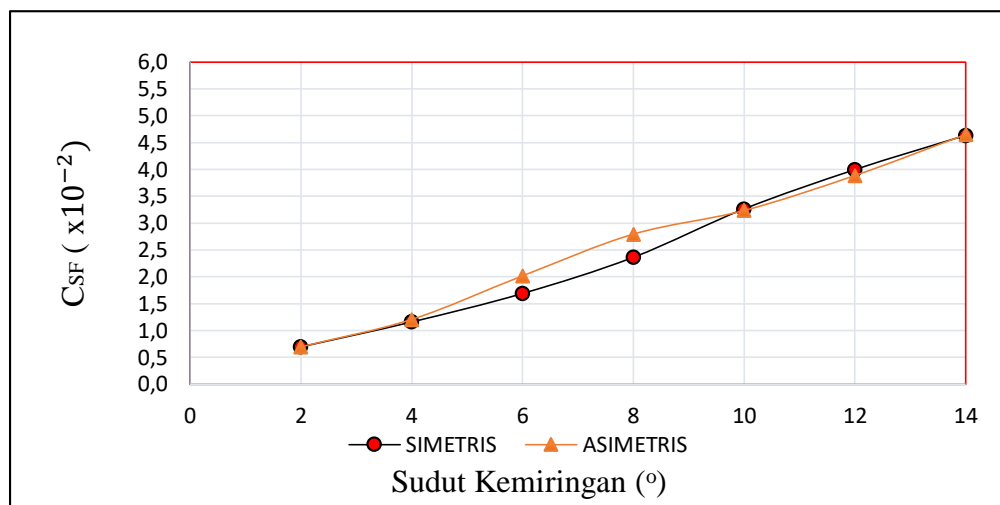
**Gambar V. 10 Perbandingan C<sub>SF</sub> kapal katamaran asimetris *flat side inside***

Perbandingan nilai C<sub>SF</sub> berdasarkan adanya variasi S/L yang dilakukan pada penelitian ini hasilnya ditunjukkan pada Gambar V.9 dan Gambar V.10. Pada gambar ditunjukkan bahwa dengan nilai S/L yang semakin besar maka nilai C<sub>SF</sub> semakin berkurang, yang berarti pada kapal katamaran dengan nilai S/L = 0.4 memiliki nilai C<sub>SF</sub> yang paling kecil dibandingkan dengan kapal katamaran dengan S/L = 0.2 dan S/L = 0.3. Dimana, jarak antara lambung secara melintang (S/L) berpengaruh terhadap nilai *force*. *Force* akan semakin bertambah apabila terjadi penurunan nilai jarak antara lambung secara melintang (S/L) (Hutauruk & Latumerissa, 2013). Disamping itu dengan adanya pengaruh kemiringan sudut, pada kapal katamaran simetris maupun kapal katamaran asimetris *flat side inside* nilai C<sub>SF</sub> semakin bertambah seiring dengan bertambahnya sudut kemiringan. Untuk melihat perbandingan antara kapal katamaran simetris dan kapal katamaran asimetris *flat side inside* berdasarkan nilai S/L disajikan dalam gambar berikut:



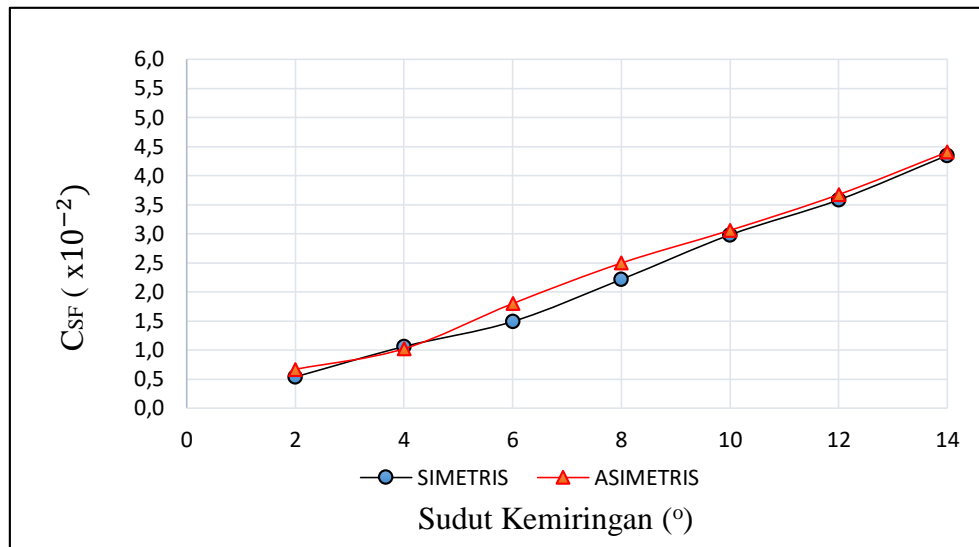
**Gambar V. 11 Perbandingan  $C_{SF}$   $S/L = 0.2$  katamaran simetris dan asimetris *flat side inside***

Pada Gambar V.11 ditunjukkan untuk perbandingan  $C_{SF}$  pada  $S/L = 0.2$ , ditunjukkan bahwa pada sudut kemiringan  $4^\circ, 6^\circ, 8^\circ$ , nilai  $C_{SF}$  pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* lebih besar dari kapal katamaran simetris.



**Gambar V. 12 Perbandingan  $C_{SF}$   $S/L = 0.3$  katamaran simetris dan asimetris *flat side inside***

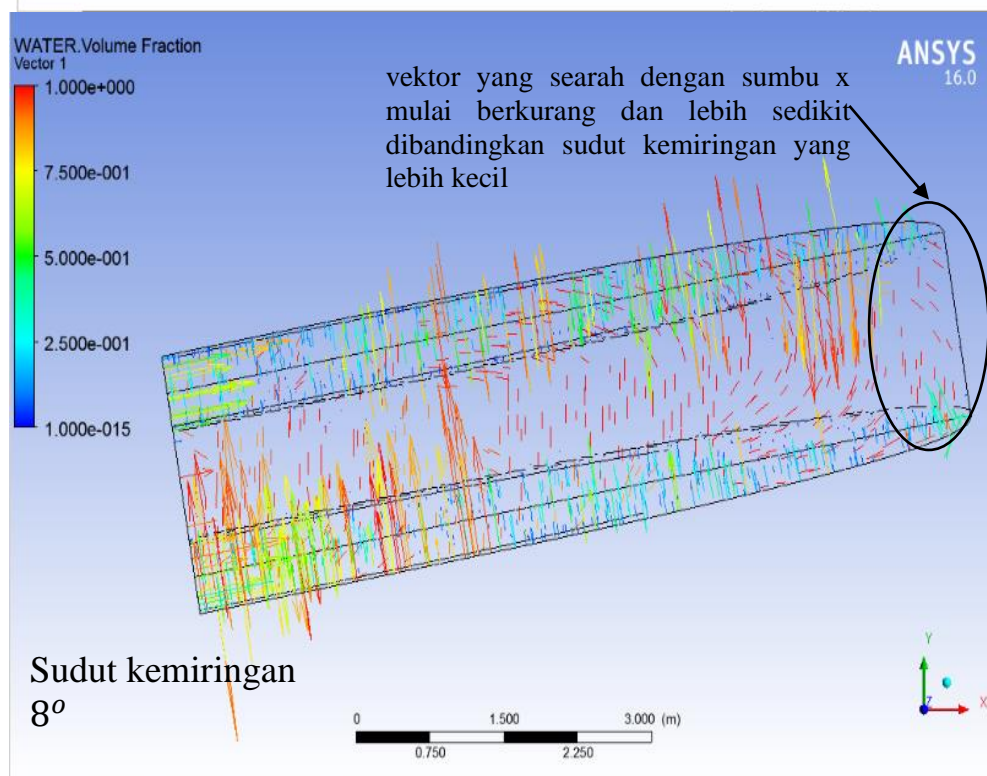
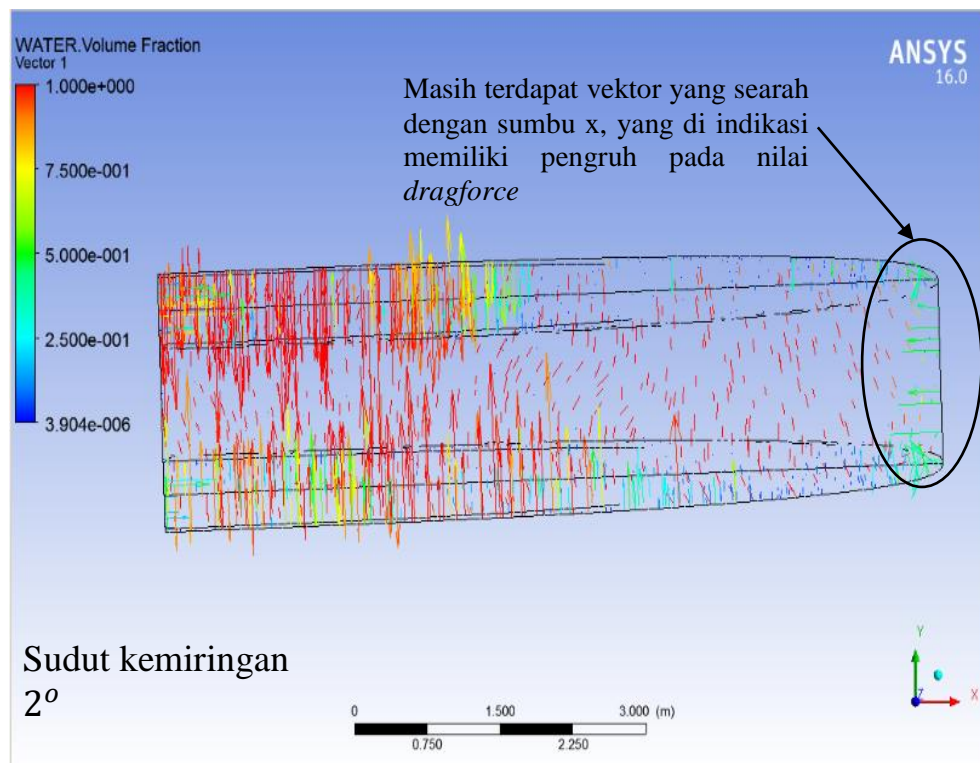
Pada Gambar V.12 ditunjukkan untuk perbandingan  $C_{SF}$  pada  $S/L = 0.3$ , ditunjukkan bahwa pada sudut kemiringan  $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ$ , nilai  $C_{SF}$  pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* lebih besar dari kapal katamaran simetris.



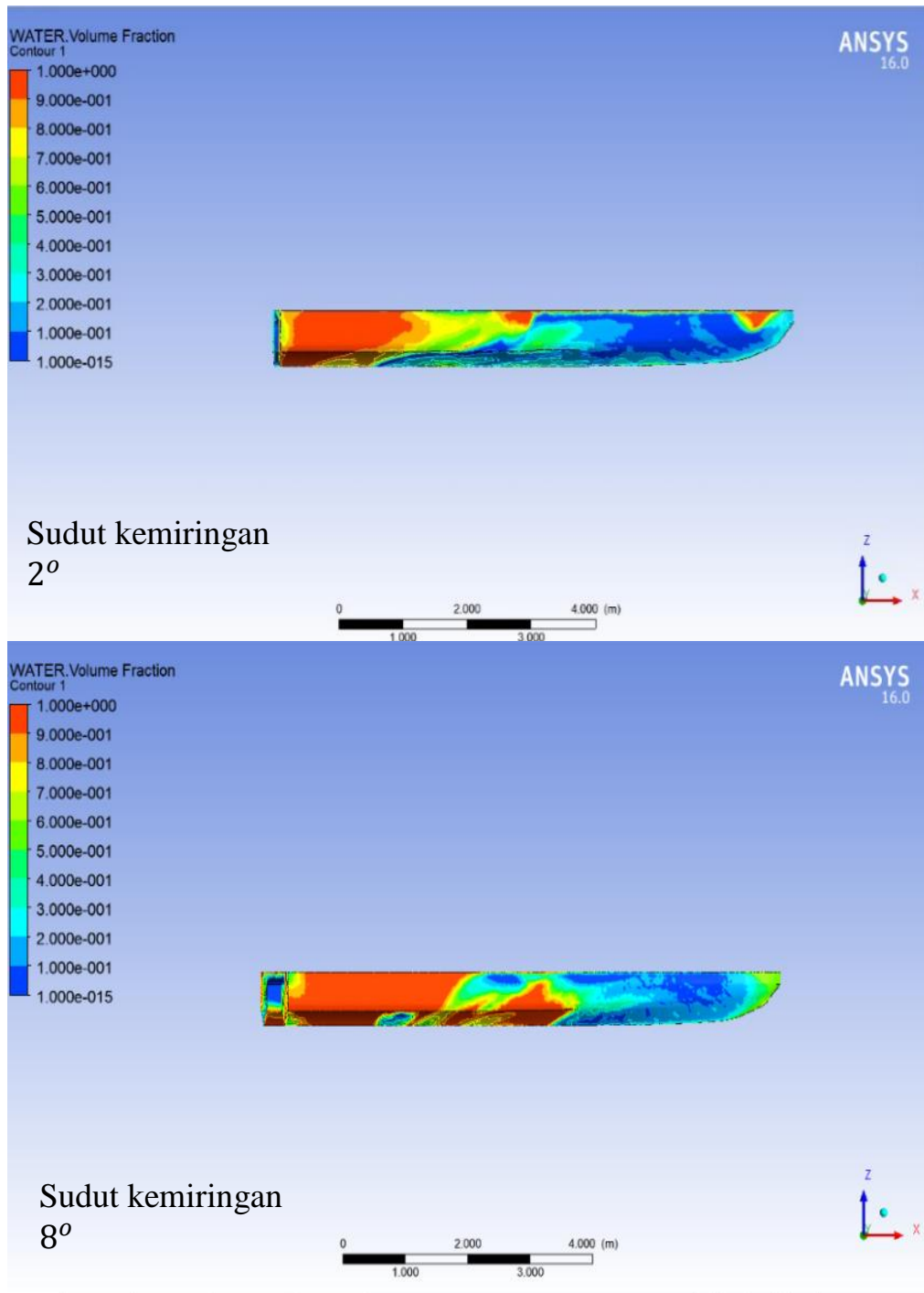
**Gambar V. 13 Perbandingan  $C_{SF}$   $S/L = 0.4$  katamaran simetris dan asimetris *flat side inside***

Pada Gambar V.13 ditunjukkan untuk perbandingan  $C_{SF}$  pada  $S/L = 0.3$ , ditunjukkan bahwa pada sudut kemiringan  $2^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$  nilai  $C_{SF}$  pada kapal katamaran asimetris *flat side inside* lebih besar dari kapal katamaran simetris.

Berikut disajikan vektor yang terjadi pada kapal katamaran. Pada Gambar V.14 ditunjukkan bahwa semakin bertambahnya sudut kemiringan maka arah vektor yang tegak lurus dengan arah gerak kapal semakin berkurang, sedangkan vektor yang berada pada bagian sisi kapal semakin bertambah. Indikasi ini yang mempengaruhi nilai *sideforce* menjadi lebih besar, sehingga sesuai dengan simulasi yang sudah dilakukan pada beberapa variasi sudut kemiringan yang sudah ditentukan, mulai pada sudut kemiringan  $8^\circ$  nilai *sideforce* lebih besar dari nilai *dragforce*. Selain vektor juga disajikan mengenai pressure yang terjadi pada kapal katamaran, dimana pada sudut kemiringan kecil *pressure* terjadi pada bagian sisi kapal, namun setelah dilakukan simulasi, *pressure* pada sisi kapal memiliki nilai tinggi pada sudut kemiringan yang besar, hal ini ditunjukkan pada Gambar V.15. sehingga dapat dikatakan semakin besarnya nilai  $C_{SF}$  juga dipengaruhi karena *force* yang besar pada sumbu y.



**Gambar V. 14 Vektor *force* yang terjadi pada kapal katamaran**



**Gambar V. 15 Gambar *pressure* yang terjadi pada kapal tampak samping pada model**

### **V.3. Hubungan *Sideforce* dan *Maneuvering***

Saat kapal melakukan proses *maneuvering*, ada beberapa faktor yang menjadi pendukung dan penghambat proses *maneuvering*. Dalam *maneuvering* kapal ada gaya dari luar yang disebut dengan *sideforce* atau gaya samping. *Sideforce* atau gaya samping (gaya

sejajar dengan sumbu y) yang dihasilkan dapat diprediksi dengan menggunakan pendekatan Lighthill, atau pendekatan yang berhubungan dengan *speed-flow*, yang menunjukkan bahwa distribusi kekuatan sisi dapat dinyatakan dalam bentuk "koefisien massa tambahan" (Hunter & Joubert, 1988).

$$I \dot{r} = N(u, v, r, \delta, \dot{u}, \dot{r}, \dot{v}) \quad (V.2)$$

Dimana,

- I : Momen inersia memperhatikan sumbu vertikal di pusat gravitasi kapal
- N : gaya atau momen hidrodinamika yang bekerja pada kapal
- r : kecepatan angular dari belokan, yang memiliki hubungan,  $r = \dot{\Psi}$

Ditinjau dari persamaan (V.2) yang berhubungan dengan gaya yang berada pada sumbu yang disepakati pada sebuah kapal. Persamaan (V.2) mengkaitkan antara hubungan gaya atau momen hidrodinamika yang bekerja pada kapal dengan kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver, dimana kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver ini dikalikan dengan momen inersia berdasarkan sumbu vertikal di pusat gravitasi kapal, sehingga dari perkalian tersebut di tujukan hubungan antara kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver berbanding lurus dengan gaya atau momen hidrodinamika yang bekerja pada kapal. Gaya yang dimaksud adalah gaya yang terdiri dari gaya atau momen yang bekerja pada lambung, baling-baling dan kemudi, yang dipengaruhi oleh kondisi aliran serta kondisi kerja seperti baling-baling dan perubahan pada sudut kemiringan kemudi (Fuwa & Tatsuo 1973). Gaya yang bekerja pada lambung ini salah satunya adalah *sideforce*.

Nilai *sideforce* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel V.1 dan Tabel V.3, nilai *sideforce* semakin besar berbanding lurus dengan semakin besarnya sudut kemiringan. Sehingga dalam hubungan *sideforce* dalam hal *maneuvering* kapal semakin besar sudut kemiringan kapal maka semakin besar nilai *sideforce*, serta semakin besar nilai *sideforce* maka semakin besar kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver. Pada penelitian ini kapal katamaran asimetris *flat side inside* memiliki nilai *sideforce* yang lebih besar dibandingkan dengan kapal katamaran simetris, sehingga kecepatan angular kapal katamaran *flat side inside* lebih besar dari kapal katamaran simetris.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### VI.1. Kesimpulan

Setelah didapatkan hasil penelitian dari CFD, maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan data yang didapatkan pada kapal katamaran Simetris nilai *sideforce* dan  $C_{SF}$  terbesar pada  $S/L = 0.2$  dengan sudut kemiringan  $14^\circ$ , yaitu *sideforce* = 3488.240 N dan  $C_{SF} = 5.256 \times 10^{-2}$ . Sedangkan nilai *sideforce* dan  $C_{SF}$  terkecil pada  $S/L = 0.4$  dengan sudut kemiringan  $2^\circ$ , yaitu sebesar *sideforce* = 378.905 N dan  $C_{SF} = 0.541 \times 10^{-2}$ . Pada kapal katamaran Asimetris *flat side inside* nilai *sideforce* dan  $C_{SF}$  terbesar pada  $S/L = 0.2$  dengan sudut kemiringan  $14^\circ$ , yaitu *sideforce* = 3495.102 N dan  $C_{SF} = 5.266 \times 10^{-2}$ . Sedangkan nilai *sideforce* dan  $C_{SF}$  terkecil pada  $S/L = 0.4$  dengan sudut kemiringan  $2^\circ$ , yaitu sebesar *sideforce* = 470.160 N dan  $C_{SF} = 0.671 \times 10^{-2}$ .
2. Perbedaan konfigurasi lambung pada kapal katamaran memiliki *sideforce* dan nilai  $C_{SF}$  yang berbeda sesuai dengan konfigurasi lambung, yaitu kapal katamaran simetris dan kapal katamaran asimetris *flat side inside*. Kapal katamaran asimetris memiliki nilai *sideforce* yang lebih besar dibandingkan dengan kapal katamaran simetris.
3. Pada kapal katamaran simetris dan asimetris *flat side inside* pada sudut kemiringan  $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$  nilai  $C_{SF}$  lebih kecil daripada nilai  $C_T$ . Namun pada sudut kemiringan  $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$   $C_{SF}$  memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $C_T$ .
4. Gaya yang bekerja pada badan kapal dapat memberikan pengaruh terhadap *maneuvering* kapal, salah satunya adalah gaya yang berasal dari bagian sisi kapal di sumbu Y (sumbu yang tegak lurus dengan arah laju kapal). Sehingga dalam hubungan *sideforce* dalam hal *maneuvering* kapal semakin besar sudut kemiringan



kapal maka semakin besar nilai *sideforce* dan semakin besar kecepatan angular dari belokan kapal saat melakukan manuver.

## **VI.2. Saran**

Saran yang dapat dilakukan pada percobaan selanjutnya agar dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Variasi sudut kemiringan, variasi kecepatan dan variasi bentuk lambung yang bisa diperbanyak untuk penelitian selanjutnya.
2. Perhitungan dalam teori *maneuvering* seperti perhitungan *turning radius* dalam *turning ability* dapat ditambahkan dalam penelitian selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bertram, V. 2002. *Practical Ship Hydrodynamics*. Butterworth-Heinemann. United Kingdom.
- Couser, P. R., A.F. Molland, J.F. Wellicome. (1998) *Experimental Measurement Of Sideforces And Induced Drag On Catamaran Demihull*. Int. Shipbuild. Progr., 45, no. 433 pp. 225-235. University Of Southamton, U.K.
- Fuwa T. & Tatsuo K. (1973), *Theory, Analysis, And Design Methodology For Ship Manoeuverability*. Defense teknolog foundation. Japan.
- Hunter, W.S. & P.N. Joubert., (1988). *Sideforces on a ship's hull.*, United States America.
- Hutauruk, R. M., Latumeirissa, Hendrik S. 2013. *Kajian Interferensi Aliran pada Model Trimaran untuk Mengungkapkan Hambatan Viskos dengan Menggunakan Uji Terowongan Angin*, Jurnal TEKNOLOGI, Volume 10 nomor 1.
- Insel, M. & Molland, A. F. 1990. *An Investigation into The Resistance Component of High Speed Displacement Catamarans*. Universty of Southampton, United Kingdom.
- Maxsurf Modeler Program & User Manual Windows Version 20*. 2013. Bentley Systems, Incorporated.
- Molland, A. F. & Stephen T. 2007. *Marine Rudder and Control Surfaces*. Butterworth-Heinemann. UK.
- Niekerk, J. 2000. *Comparison of Catamaran Hull Type, Issue of Power Multihulls Magazine*.
- Tuakia, F. 2008. *Dasar-dasar menggunakan CFD Fluent*. Bandung: Penerbit Informatika.

Utama, I.K.A.P. & Hantoro R. 2010. “*Computational Fluid Dynamic (CFD) dengan ANSYS CFX*”, ITS Surabaya.

Versteeg H.K., & Malalasekera W. 2007. *An introduction to computational Fluid Dynamics, Longman Scientific & Technical, England.*

# LAMPIRAN

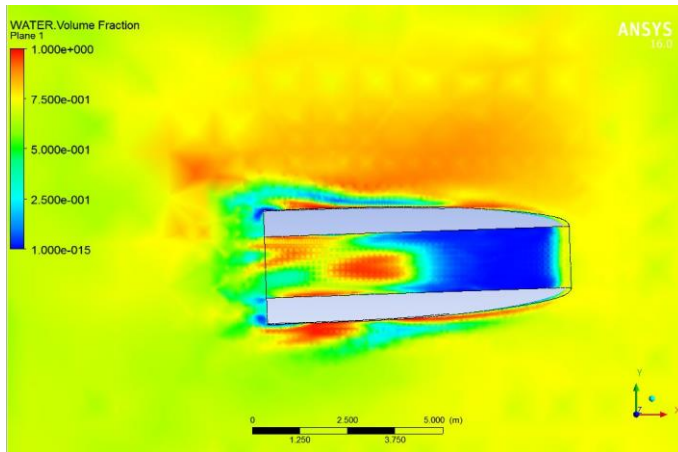
Lampiran A Kontur Kapal Katamaran Asimetris *Flat Side Inside*

Lampiran B Kontur Kapal Katamaran Simetris

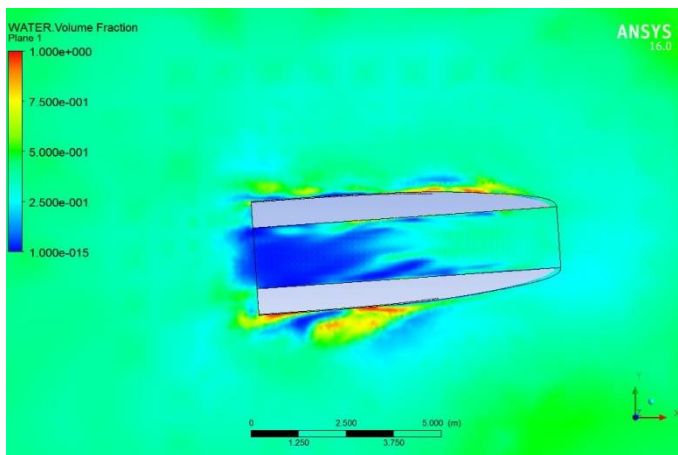
## A. Kapal katamaran asimetris *flat sdie inside*

➤  $S/L = 0.2$

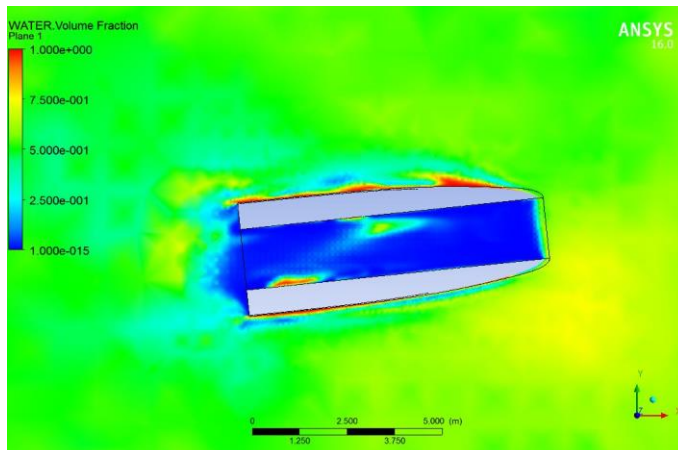
### 1. Sudut kemiringan 2 derajat



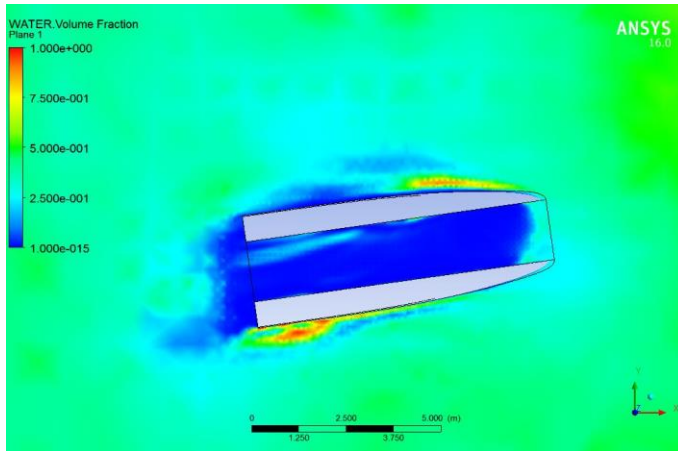
### 2. Sudut kemiringan 4 derajat



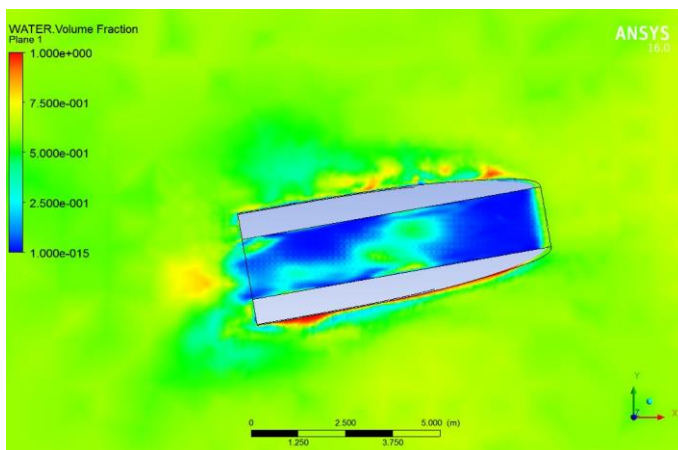
### 3. Sudut kemiringan 6 derajat



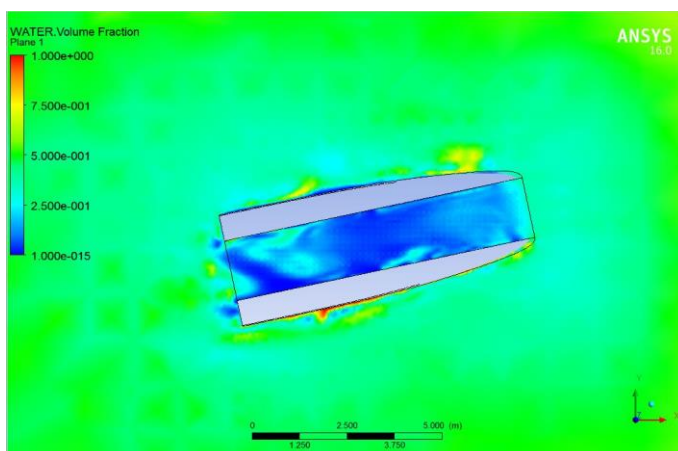
#### 4. Sudut kemiringan 8 derajat



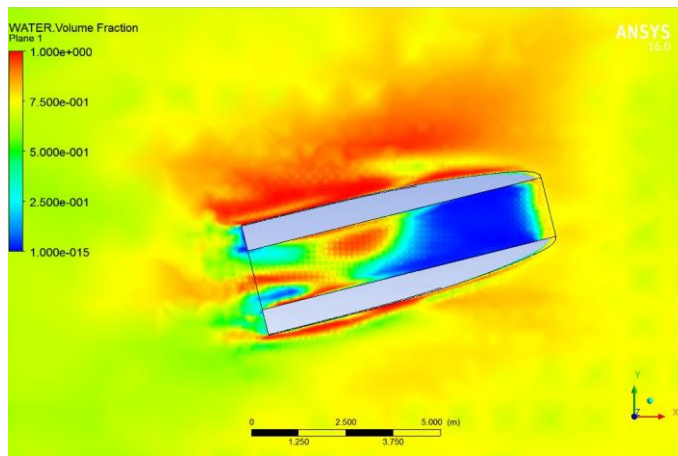
#### 5. Sudut kemiringan 10 derajat



#### 6. Sudut kemiringan 12 derajat

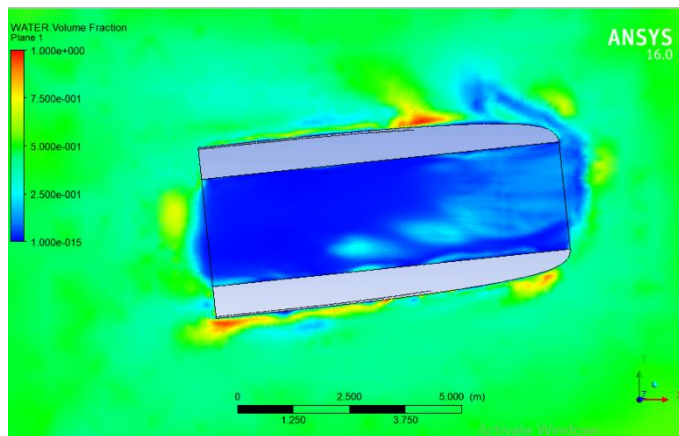


## 7. Sudut kemiringan 14 derajat

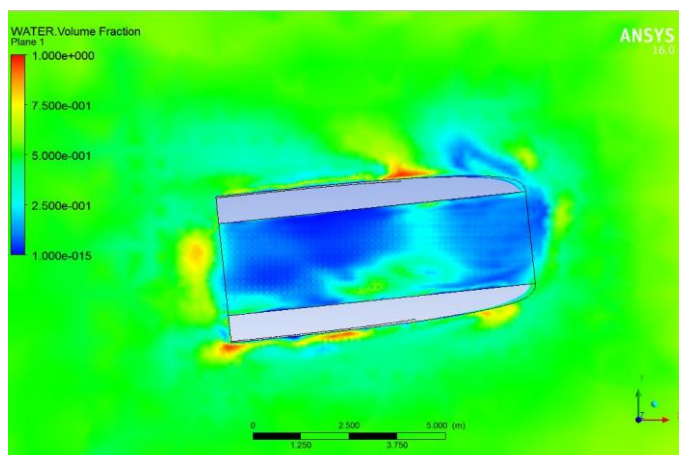


➤  $S/L = 0.3$

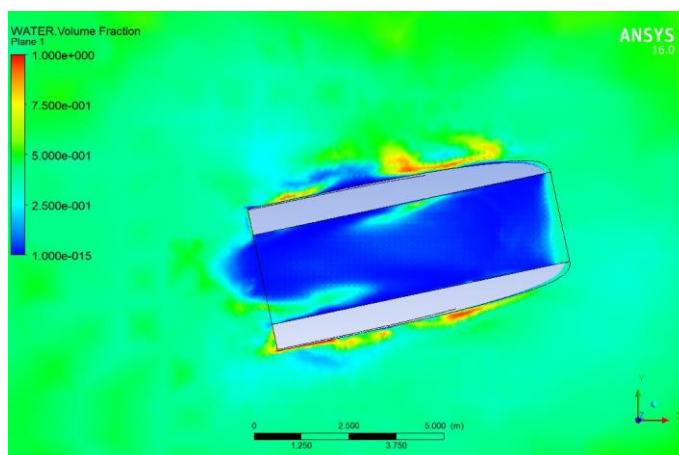
### 1. Sudut kemiringan 2 derajat



### 2. Sudut kemiringan 4 derajat

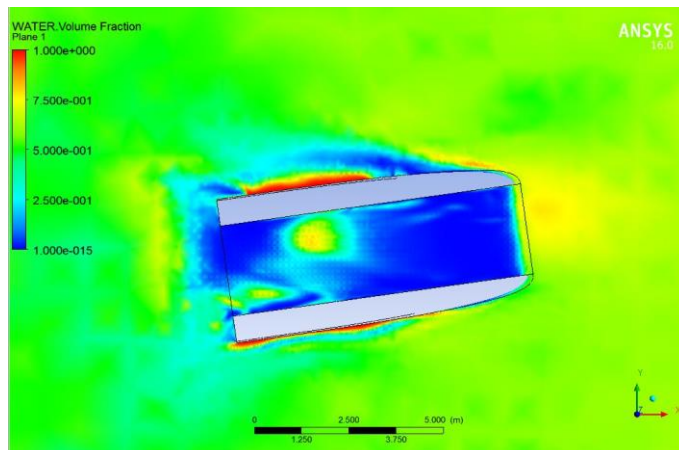


### 3. Sudut kemiringan 6 derajat

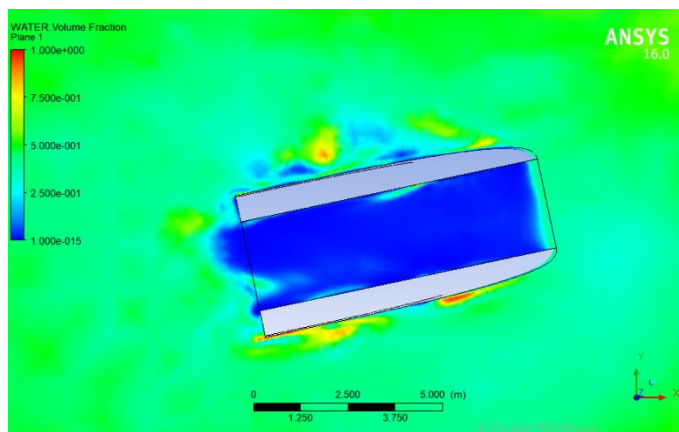




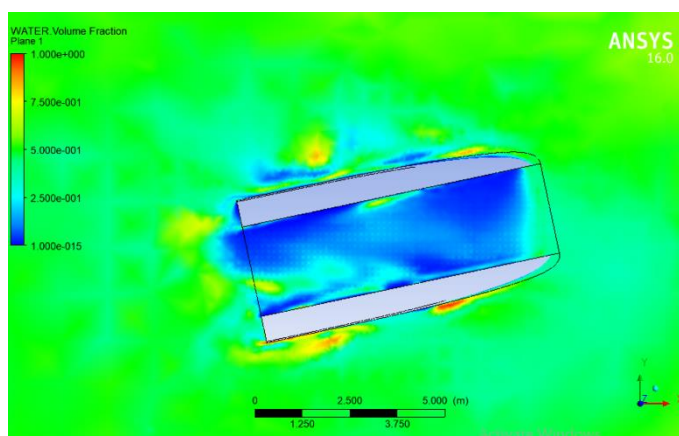
#### 4. Sudut kemiringan 8 derajat



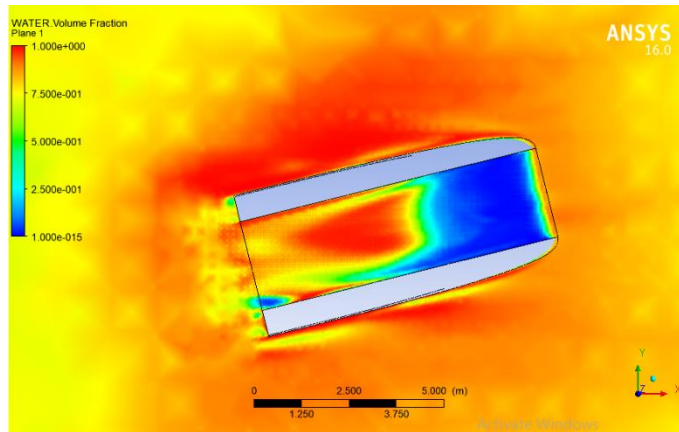
#### 5. Sudut kemiringan 10 derajat



#### 6. Sudut kemiringan 12 derajat

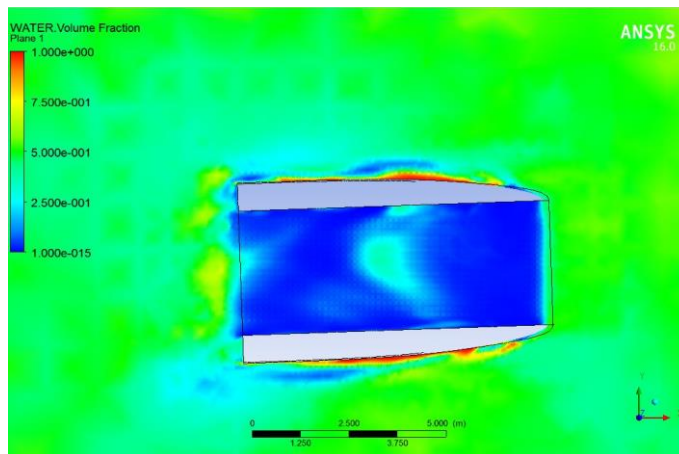


## 7. Sudut kemiringan 14 derajat

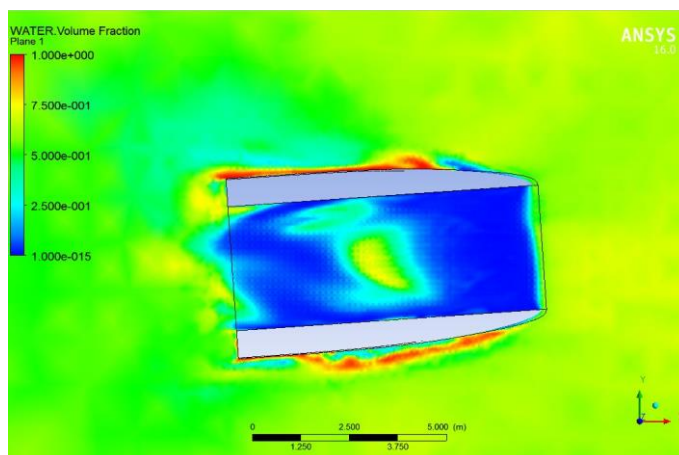


➤  $S/L = 0.4$

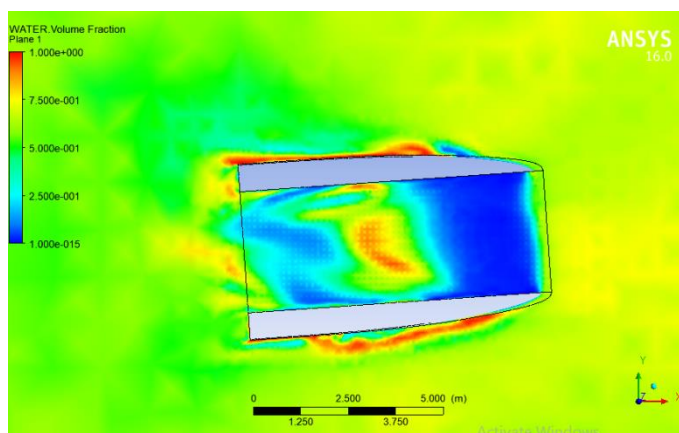
### 1. Sudut kemiringan 2 derajat



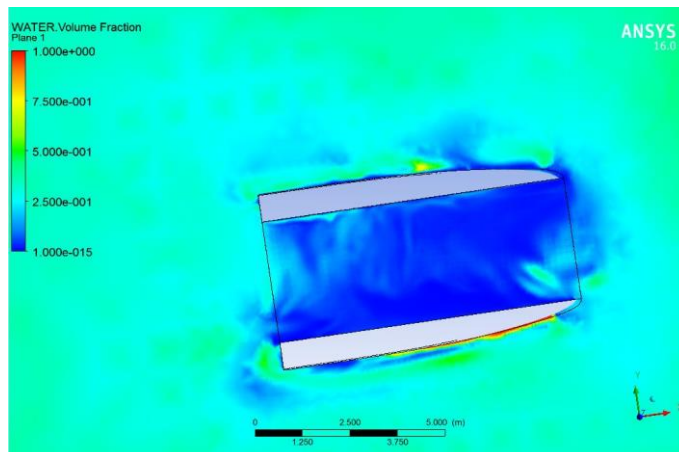
### 2. Sudut kemiringan 4 derajat



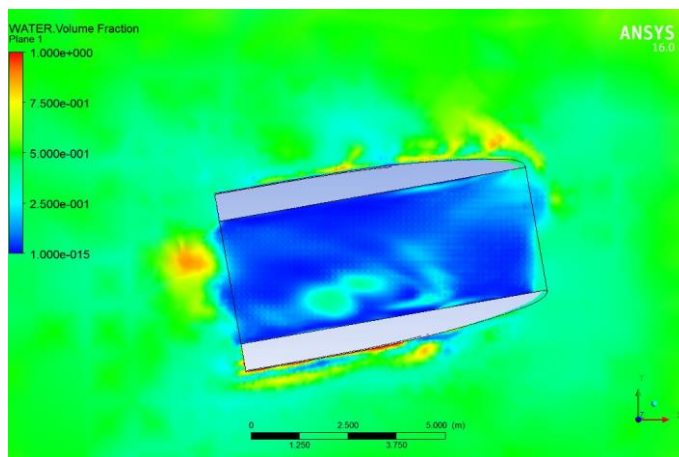
### 3. Sudut kemiringan 6 derajat



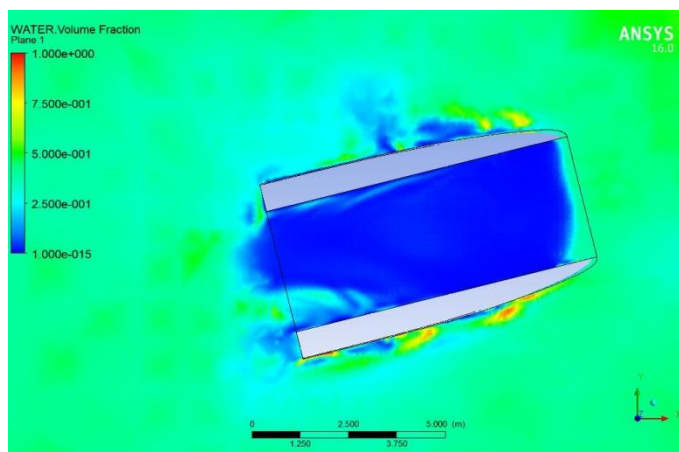
#### 4. Sudut kemiringan 8 derajat



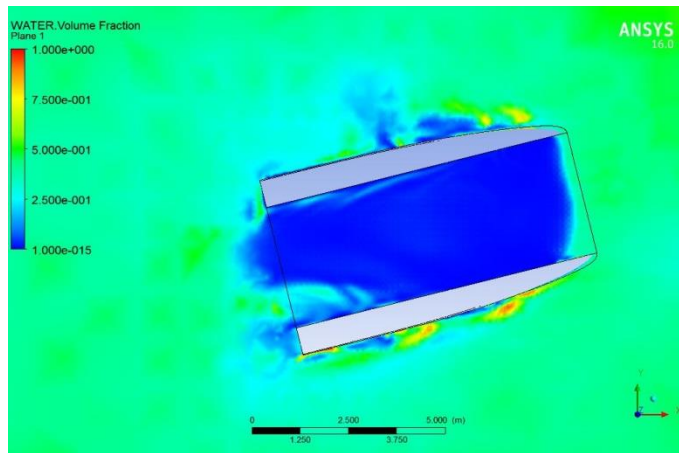
#### 5. Sudut kemiringan 10 derajat



#### 6. Sudut kemiringan 12 derajat



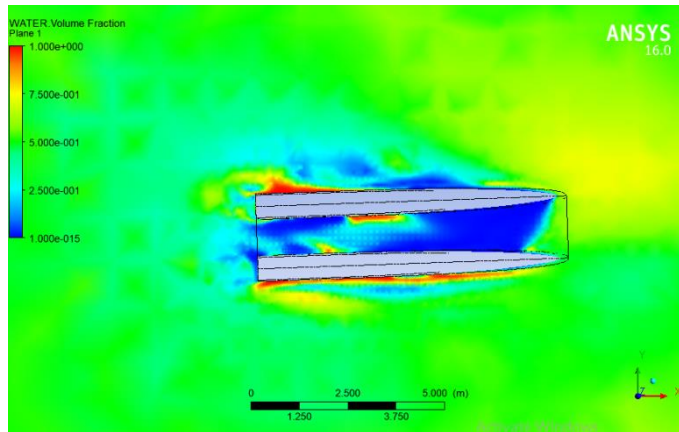
## 7. Sudut kemiringan 14 derajat



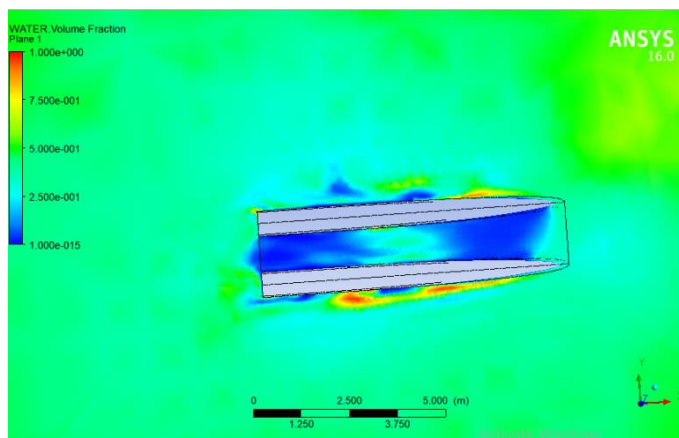
## B. Kapal katamaran simetris

➤  $S/L = 0.2$

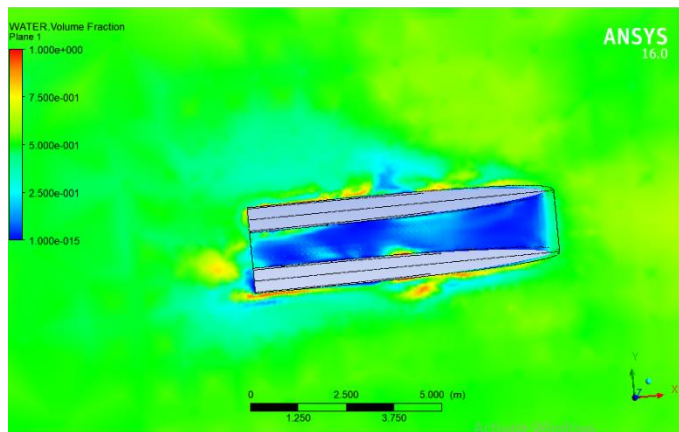
### 1. Sudut kemiringan 2 derajat



### 2. Sudut kemiringan 4 derajat

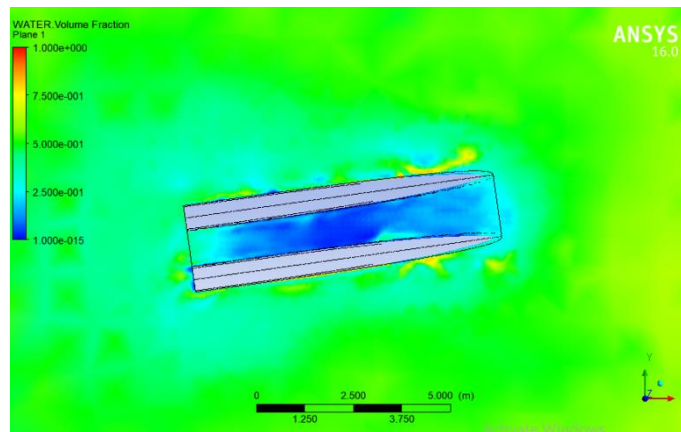


### 3. Sudut kemiringan 6 derajat

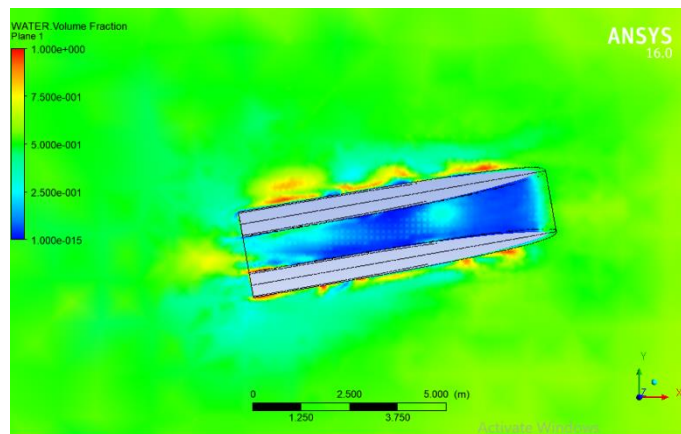




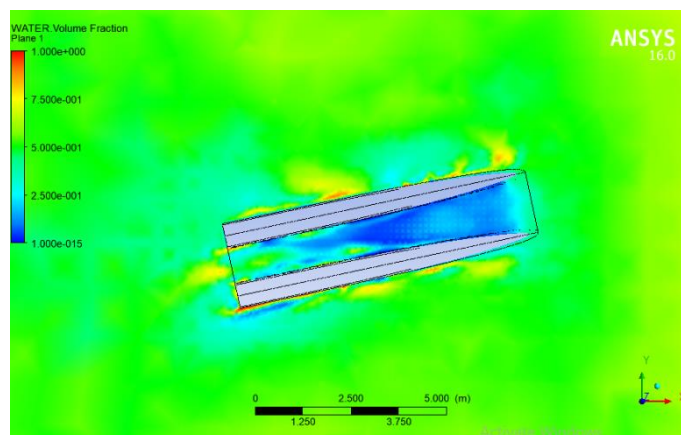
#### 4. Sudut kemiringan 8 derajat



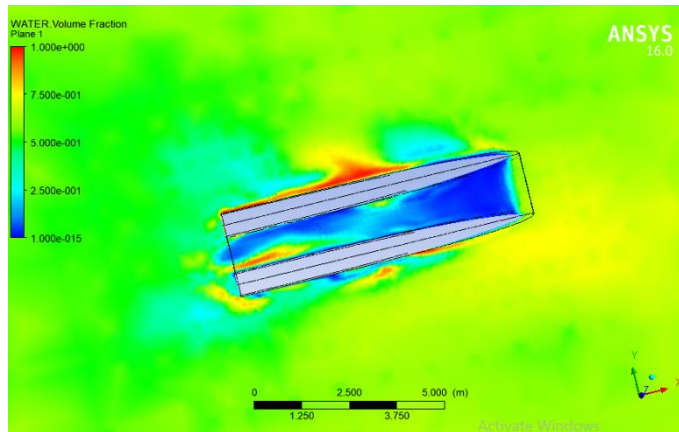
#### 5. Sudut kemiringan 10 derajat



#### 6. Sudut kemiringan 12 derajat



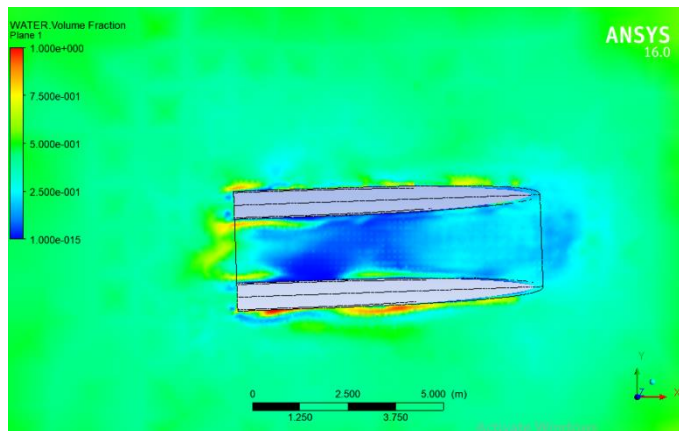
## 7. Sudut kemiringan 14 derajat



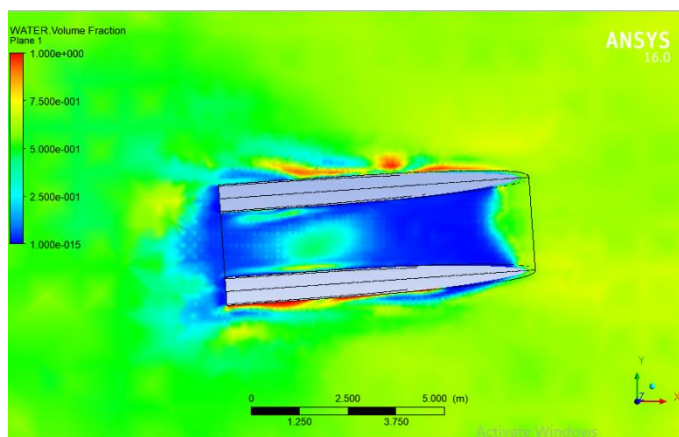


➤  $S/L = 0.3$

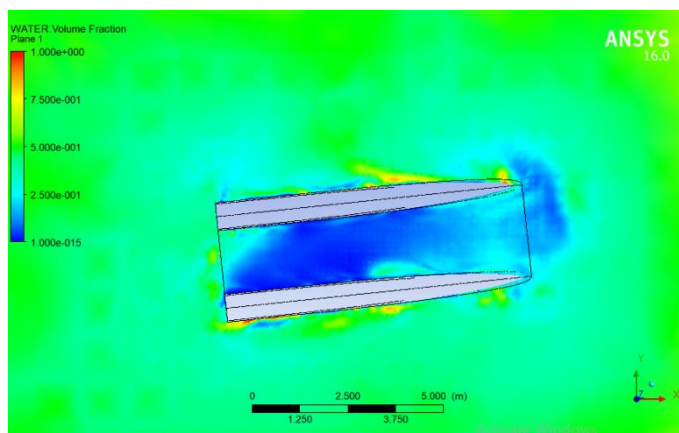
### 1. Sudut kemiringan 2 derajat



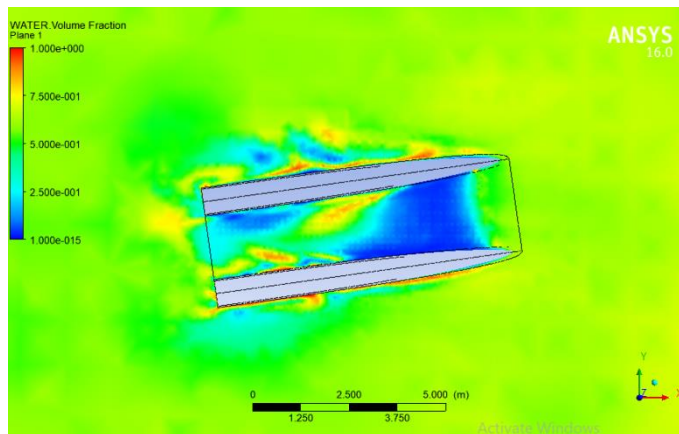
### 2. Sudut kemiringan 4 derajat



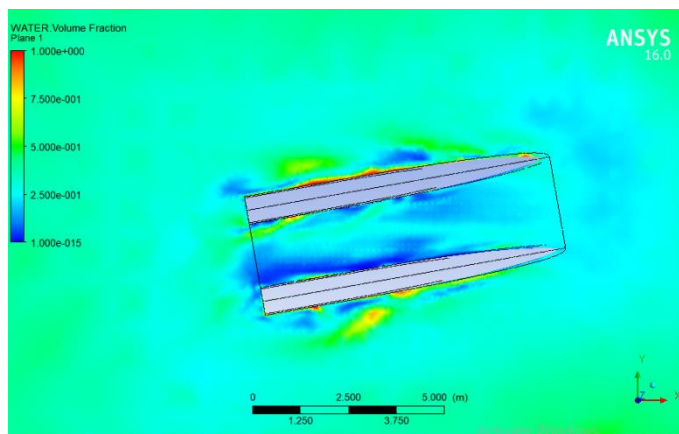
### 3. Sudut kemiringan 6 derajat



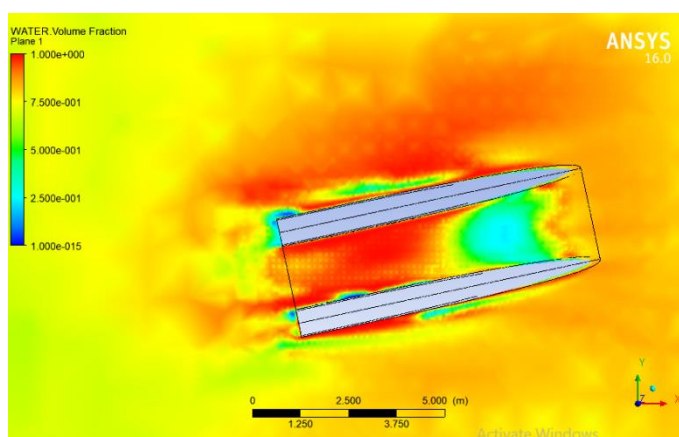
#### 4. Sudut kemiringan 8 derajat



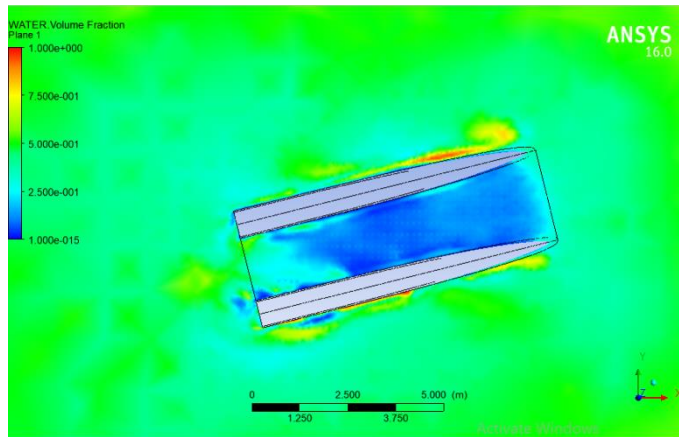
#### 5. Sudut kemiringan 10 derajat



#### 6. Sudut kemiringan 12 derajat

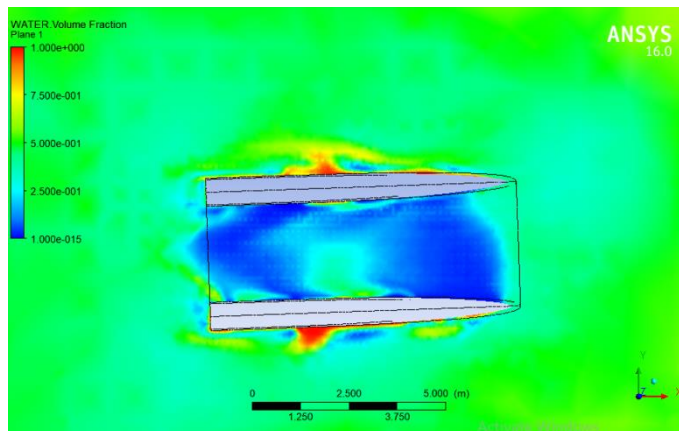


## 7. Sudut kemiringan 14 derajat

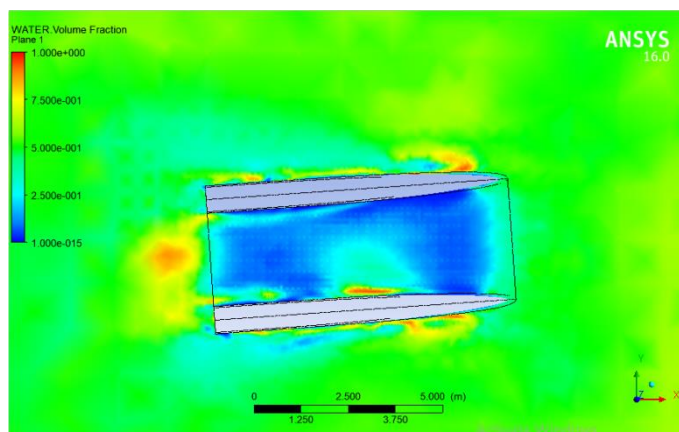


➤  $S/L = 0.4$

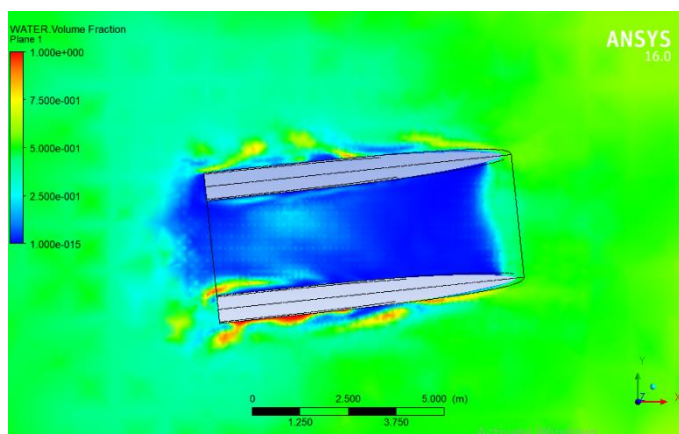
### 1. Sudut kemiringan 2 derajat



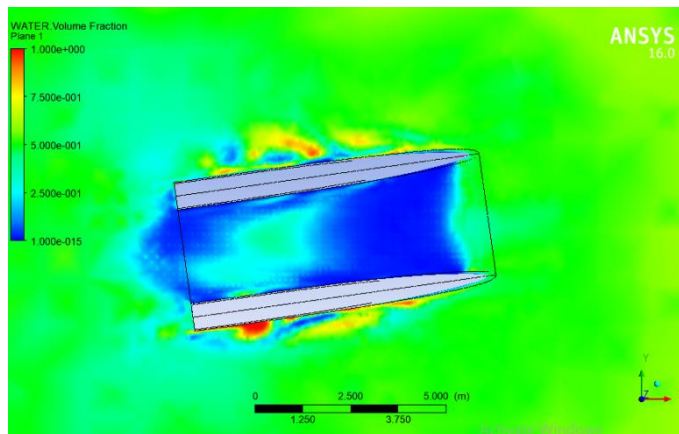
### 2. Sudut kemiringan 4 derajat



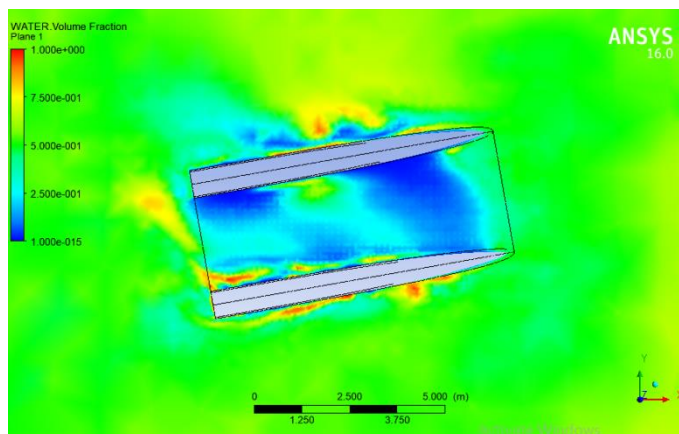
### 3. Sudut kemiringan 6 derajat



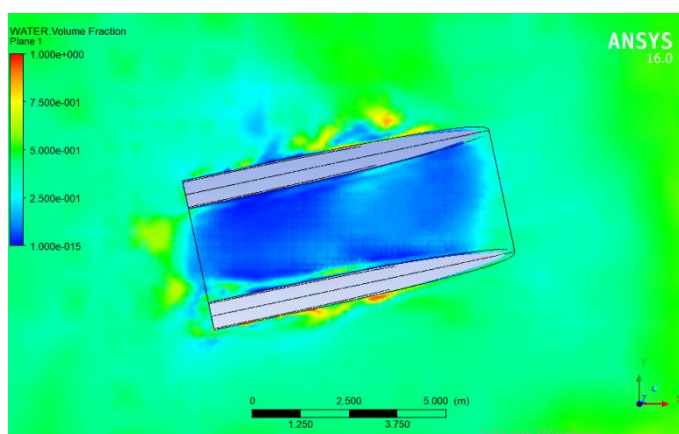
#### 4. Sudut kemiringan 8 derajat



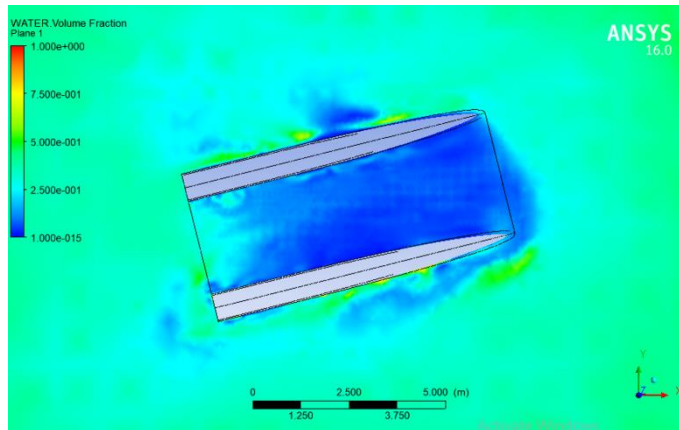
#### 5. Sudut kemiringan 10 derajat



#### 6. Sudut kemiringan 12 derajat



## 7. Sudut kemiringan 14 derajat





## BIODATA PENULIS



Aryo Tri Septya Nugraha, nama lengkap penulis. Lahir di Kediri provinsi Jawa Timur pada 9 September 1996. Sejak lahir sampai dengan sekarang penulis dibesarkan di kota yang berjuluk Kota Tahu. Penulis merupakan anak dari pasangan Sanusi dan Wahyu Listianingati, anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari TK Dharma Wanita Purwodadi lulus tahun 2002. Kemudian melanjutkan sekolah di SD Negeri Purwodadi 1 lulus pada tahun 2006. Pada saat duduk dibangku SMP penulis menuntut pendidikan di SMP Negeri 1 Papar dan lulus pada tahun 2011. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Pare lulus pada tahun 2014. Setelah lulus dari bangku SMA pada tahun 2014 penulis di terima di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Di Departemen Teknik Perkapalan penulis mengambil bidang studi Rekayasa Perkapalan-Hidrodinamika. Semasa kuliah di ITS selain aktif di bidang perkuliahan dan akademik, penulis juga aktif dalam berorganisasi, kepelatihan dan Tim kompetisi. Dalam kegiatan keorganisasian penulis pernah menjabat sebagai Ketua BSO Hydromodelling HIMATEKPAL tahun 2016-2017, *Steering Commite Nationan Ship Design and Race Competition* (NASDARC) di SAMPAN 9. Dalam kegiatan pelatihan penulis ikut serta di pelatihan *Auto-CAD Training* tahun 2014, *Auto-CAD Advanced Training* tahun 2015 dan *Maxsurf Training* tahun 2014. Penulis tergabung dalam tim ROGOJIWO dalam kompetisi MMENE Universitas Indonesia tahun 2015 dan 2016 dan HTMB Universitas Hang Tuah 2016. Serta tergabung Dalam tim BARUNASTRA ITS dalam kompetisi Deconbotion Universitas Diponegoro tahun 2015, KKCTBN yang diselenggarakan oleh MENRISTEK DIKTI 2016, serta dalam kompetisi AUVSI *Roboboat* di Daytona Beach, USA tahun 2016. Selain itu penulis pernah tercatat menjadi *grader* mata kuliah Menggambar Teknik pada tahun ajaran 2015-2016 dan 2016-2017.

Email: [aryotriseptyanugraha@gmail.com](mailto:aryotriseptyanugraha@gmail.com) / [aryo.nugraha14@mhs.na.its.ac.id](mailto:aryo.nugraha14@mhs.na.its.ac.id)